

www.eur-oceans.info













EUR-OCEANS

CLIMATE CHANGE AND MARINE ECOSYSTEMS

Teacher's material
Materiale per i Docenti
Material para el profesor
Dossiers enseignants
Materiały dla nauczycieli
Material för lärare

Réseau d'aquarium EUR-OCEANS



Un réseau de diffusion des connaissances...

Une équipe éducative européenne à votre service!

Ce groupe, coordonné par Océanopolis (Brest, France) et composé de 9 Aquariums ou centres de culture scientifique européens ainsi que l'E.U.A.C (réseau de plus de 60 Aquariums européens), est chargé de diffuser auprès du grand public, des enseignants et de leurs élèves, les travaux des scientifiques d'EUR-OCEANS. Son objectif est de faire connaître leurs sujets d'étude, démarches et avancées en réalisant notamment des activités éducatives et des actions grand public.

En relation directe avec les scientifiques, les aquariums mettent à votre disposition leurs compétences. Les différentes équipes éducatives vous proposent de réaliser un projet autour de la thématique du changement climatique et de son impact sur les océans, à travers une approche pluridisciplinaire, adaptée à votre système éducatif et à vos besoins.

Dans chacune des structures, les différents services éducatifs vous proposent des supports, des outils et des ateliers pédagogiques. Ils seront heureux de vous accueillir et de travailler avec vous. A travers le programme éducatif EUR-OCEANS vous trouverez une occasion unique et originale de partager vos expériences avec des enseignants et élèves d'autres pays européens!



Aquarium de Gênes - Italie



Tel : + 39 010 2345233
didattica@acquariodigenova.it
www.acquarioscuola.it

L'Aquarium de Gênes, ouvert en 1992, est l'un des plus grands d'Europe, avec 70 bassins présentant les écosystèmes aquatiques d'eau douce tropicale et marine du monde entier. La mission de l'Aquarium de Gênes est de sensibiliser et d'éduquer le grand public à la conservation, à la gestion et à l'exploitation durable et responsable des milieux aquatiques. Son service éducatif propose au public scolaire de nombreuses activités thématiques tout au long du parcours de l'Aquarium ou dans les laboratoires prévus à cet effet.



Crédits photos : Acquario Genova

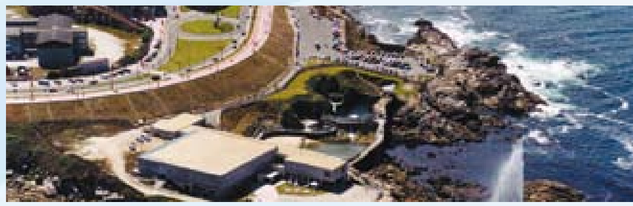
Aquarium Finisterrae - Galice - Espagne



Tel : + 34 981 189 842
aquarium@casaciencias.org
www.casaciencias.org/aquarium/

Face à l'Océan Atlantique, sur le site historique du phare de la tour d'Hercule à La Corogne, l'Aquarium Finisterrae est intégré à un magnifique environnement naturel. Il dévoile toute la biodiversité de la côte Galicienne, mais aussi la vie des pêcheurs, leurs activités et traditions liées au milieu marin. Nautilus, un Aquarium sous la mer, met en scène le rêve de Jules Verne, "20 000 lieues sous les mers". Interactive et ludique, la

salle Maremagnum apporte des réponses aux 60 questions sur la mer posées par les étudiants de Galice. Une colonie de phoques de l'Atlantique est présentée dans son habitat naturel.



Crédits photos : Aquarium Finisterrae

CNES (Centre National d'Études Spatiales)
Toulouse, Paris, Kourou - France

Tel : + 33 5 61 27 46 84
danielle.destaerke@cnes.fr
www.cnes.fr/web/98-accueil-cnes-education.php

Depuis sa création en 1961, le CNES est chargé de proposer et de conduire la politique spatiale de la France en réponse aux besoins de notre société, dans le cadre de la coopération internationale et tout particulièrement au sein de l'Europe.

Dès 1963, l'éducation devient une priorité forte du CNES qui crée le service Culture Spatiale. Ce service a la double mission de contribuer à faire connaître les activités spatiales et leurs applications, et d'utiliser l'espace comme support d'éducation et d'apprentissage.



Crédits photos : Cnes

CretAquarium - Crète - Grèce

Tel : + 32 810 337792
tpoly@her.hcmr.gr
www.cretaquarium.gr



Le CretAquarium Thalassocosmos a ouvert ses portes en décembre 2005. Sa mission est d'informer, d'éduquer et de sensibiliser le public à l'importance et la variété des espèces et des habitats méditerranéens, en organisant ou proposant des séminaires, des événements et des programmes éducatifs sur ces thématiques. Il collabore aux activités pédagogiques des écoles et centres d'éducations à l'environnement. Appartenant au Centre Hellénique pour la Recherche Marine, il génère un lien privilégié entre le public et la communauté scientifique.



Crédits photos : Crete Aquarium

E.U.A.C (European Union of Aquarium Curators)

Tel : + 377 93 15 36 00
n.ounais@oceano.mc
www.euac.org

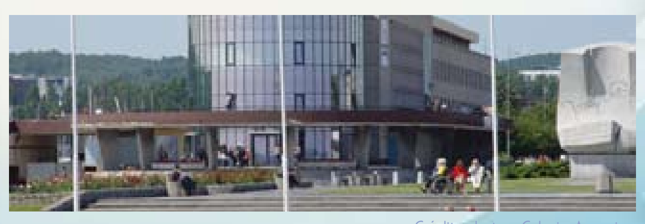


L'Union Européenne des Conservateurs d'Aquariums a été créée en 1972. Elle regroupe aujourd'hui 64 Aquariums de 20 pays différents. Cette organisation non gouvernementale a pour but de faciliter le partage d'expérience et de faire progresser la discipline aquariologique, selon une éthique respectant le bien-être des êtres vivants. L'EUAC est engagé dans de nombreuses actions de Conservation, de Recherche et d'Éducation. Les Aquariums qui en sont membres proposent aux scolaires et enseignants des programmes éducatifs de qualité.

Gdynia Aquarium - Gdynia - Pologne

Tel : + 48 58 732 66 01
akwarium@mir.gdynia.pl
www.akwarium.gdynia.pl

L'Aquarium de Gdynia fait partie de l'Institut Marin des Pêches, la plus ancienne station de recherche marine en Pologne. 1500 spécimens et 180 espèces sont présentés dans les bassins de l'Aquarium. La mission de cet établissement est de diffuser les connaissances sur la biologie marine et de sensibiliser le public à la protection de l'environnement. Le département éducatif mène à bien ces objectifs auprès des scolaires à travers ses programmes et activités pédagogiques.




Crédits photos : Gdynia Aquarium

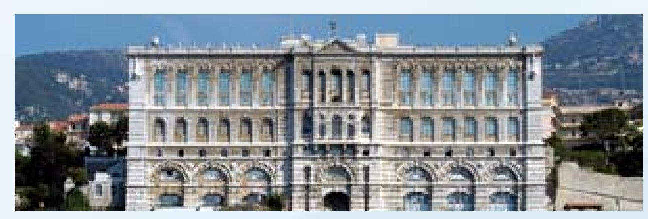


Musée océanographique - Monaco



Tel : + 377 93 15 36 00
serv.educatif@oceano.mc
www.oceano.mc

Fondé en 1910 par le Prince Albert Ier de Monaco, le Musée océanographique est entièrement dédié à la mer, à sa connaissance et à sa sauvegarde. Sa mission est de développer et de faire connaître à un large public l'Océanographie à travers ses collections, ses expositions et les écosystèmes tropicaux et méditerranéens de son Aquarium. Son équipe éducative vous propose de nombreux ateliers adaptés aux différents niveaux scolaires, autour de la découverte et de la compréhension du milieu marin et du climat.



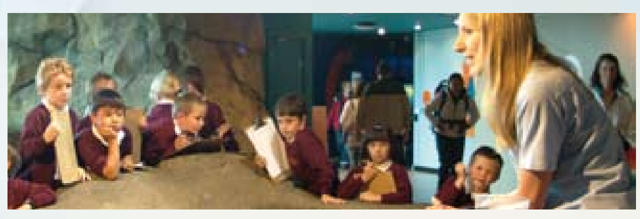
Crédits photos : M. Dagnino

National Marine Aquarium- Plymouth - Angleterre



Tel : + 44 (0) 1752 275233
caroline.johnson@national-aquarium.co.uk
www.national-aquarium.co.uk

Le National Marine Aquarium a été le premier au Royaume-Uni à être spécialement dédié à l'éducation, à la recherche et à la conservation. Il est aujourd'hui l'un des Aquariums les plus en vue en Grande Bretagne et présente le bassin le plus profond d'Angleterre. Son équipe éducative spécialisée propose au public scolaire des programmes d'activités novateurs et animés !



Crédits photos : National Marine Aquarium

Océanopolis - Brest - France



Tel : + 33 298 344 960
anne.rognant@oceanopolis.com
www.oceanopolis.com

À travers une approche authentique, pédagogique, scientifique des écosystèmes tempéré, polaire et tropical, Océanopolis, Centre de Culture Scientifique et Technique, raconte l'histoire naturelle des océans. Océanopolis, le parc de découverte des océans, équipement incontournable en matière d'éducation à l'environnement marin, est un outil unique à la disposition des élèves et des enseignants. Océanopolis propose aux scolaires un programme d'ateliers pédagogiques et de journées éducatives spécialement élaborées en fonction de leur niveau, de la maternelle à la terminale.



Crédits photos : Océanopolis

Universeum - Göteborg - Suède



tel : + 46 31 335 64 97
mona.gidhagen@universeum.se
www.universeum.se

L'Universeum est un Centre de Culture Scientifique, destiné à accroître l'intérêt du public pour la Science et la Technologie par une approche éducative originale. L'Universeum est imbattable pour éveiller les vocations ! Il présente de nombreux espaces d'exposition interactifs et éducatifs : un vaisseau spatial, l'écosystème des rivières de montagne, celui de la forêt amazonienne et de fantastiques aquariums. Nos activités scolaires sont basées sur la transmission pluridisciplinaire du savoir par les étudiants aux plus jeunes, encadrés par des enseignants expérimentés. Les activités ont lieu en petits groupes, autour de différents thèmes toujours ouverts sur les perspectives futures.



Crédits photos : Universeum



Guide de l'enseignant

Intégrer les problématiques environnementales à votre programme scolaire!

Mode d'emploi

L'impact des changements climatiques est aujourd'hui une problématique qui est dans tous les esprits et concerne particulièrement la jeune génération, les futurs citoyens de la Planète. Pour vous aider à traiter ce sujet au cours de l'année scolaire, des supports, des outils, des thématiques et des axes de travail vous sont proposés. Ils sont destinés à être adaptés et utilisés en fonction de vos besoins et du niveau de vos élèves.

En intégrant ces problématiques environnementales à votre enseignement, vous pourrez :

- Sensibiliser les jeunes à l'impact du changement climatique sur les écosystèmes marins et leurs ressources,
- Leur faire prendre conscience des dangers qui menacent les océans,
- Rapprocher les scolaires du monde de la recherche en les initiant à la démarche scientifique et expérimentale,
- Familiariser les élèves avec les techniques utilisées par les océanographes sur le terrain,
- Stimuler les échanges entre de nombreuses classes européennes.

Mots clés

Soleil, Terre, climat, changement climatique, océans, atmosphère, ressources naturelles, homme, démarche et approche scientifiques, patrimoine, biodiversité, surexploitation, pollutions, surpopulation, déchets, dioxyde de carbone (CO_2), effet de serre, gaz à effet de serre, économie, loisirs, protection, gestion durable, prise de conscience...





Les thématiques et axes de travail

- Les océans, un patrimoine mondial menacé...

Les océans sont soumis à une pression de plus en plus forte des populations humaines et des activités qui leur sont liées. L'augmentation des gaz à effet de serre due à la combustion par l'Homme des énergies fossiles n'est que l'une des menaces qui pèsent sur l'équilibre des océans et des milieux naturels : la surexploitation et l'épuisement des ressources, la destruction des habitats naturels, les différentes pollutions et les rejets sont d'autres menaces bien réelles... Pour l'avenir des générations futures, il est aujourd'hui vital de préserver et de mieux gérer les ressources naturelles issues des océans, car le rôle qu'elles jouent dans le fonctionnement de la Planète est prépondérant.

+ (***Pour en savoir plus :*** *fiche 'Impact des changements climatiques sur les océans' ; film 'Calanus au Spitzberg' ; film 'Voice of Science' ; film 'Histoire de Sardine').*

- Les océans régulateurs du climat et de l'effet de serre

Avec les vents, les courants océaniques jouent un rôle déterminant dans la régulation du climat. Ils ont un impact sur les températures, les précipitations et l'humidité que nous connaissons dans nos pays. Ils redistribuent la chaleur autour de notre Planète, en compensant partiellement les différences de rayonnement entre zones géographiques. Le courant chaud du Gulf Stream est ainsi en partie responsable du climat plus doux de l'Europe du Nord, alors qu'aux mêmes latitudes, le climat du continent nord Américain, beaucoup plus rude, est influencé par le courant froid du Labrador.

+ *(**Pour en savoir plus :** fiche et film 'Gulf Stream')*

Dans chaque hémisphère Nord et Sud, les eaux chaudes équatoriales de surface circulent jusqu'aux Pôles, véritables réserves de froid de la Planète. Elles s'y évaporent en échangeant la chaleur avec l'atmosphère, sont refroidies et plongent en profondeur. Ce transport et cette redistribution de l'énergie par les courants sont connus sous le nom de « tapis roulant océanique ».

+ *(**Pour en savoir plus :** poster 'Ocean Conveyor Belt' ; film 'Polarstern')*

Par le jeu des échanges gazeux avec l'atmosphère, les océans sont comparables à une gigantesque éponge absorbant beaucoup de gaz atmosphériques. Ce phénomène influe sur la composition chimique de l'air que nous respirons. Aujourd'hui, une question nous préoccupe : combien de dioxyde de carbone l'océan peut-il encore absorber ?

+ (**Pour en savoir plus :** *fiche et film 'Acidification des océans' ; film 'Faut-il manipuler l'océan ?'*)

Les océans producteurs de matière organique et d'oxygène

Les premières formes de vie sont apparues dans les océans. Grâce au processus de la photosynthèse et à l'utilisation de l'énergie lumineuse, du dioxyde de carbone et des sels minéraux, les végétaux marins sont les premiers maillons des chaînes alimentaires marines, exceptés celles qui se développent en profondeur à partir des sources hydrothermales. Ils produisent 75 % de l'oxygène que nous respirons, absorbent du dioxyde de carbone et contribuent ainsi au maintien de l'équilibre des gaz dans la composition de l'atmosphère. Les végétaux marins sont la première source de matière organique et de nourriture pour les autres organismes marins, y compris les plus gros animaux de la Planète, comme la baleine bleue ou le requin baleine.

+ (**Pour en savoir plus :** *atelier 'Plancton du Monde'*)

Les océans et la biodiversité

Derniers territoires à explorer de la Planète, les océans recouvrent 70 % de la surface de la Terre et sont loin d'avoir livré tous leurs secrets. Ils représentent un immense réservoir de vie. 200 000 espèces marines, dont 30 000 espèces de poissons, ont été recensées et décrites par les scientifiques mais ils estiment ne connaître que moins de 10 % des espèces qui vivent dans les océans, sans compter les bactéries ! La diversité de la vie est synonyme de ressources pour l'être humain. Dans les océans, une grande partie des espèces connues et recensées se concentre dans les zones côtières, où de nombreux écosystèmes sont menacés. 30 % des récifs coralliens ont disparu, les mangroves sont en forte régression. Une solution efficace pour l'avenir : des aires marines protégées sont peu à peu créées dans toutes les régions sensibles pour préserver la biodiversité.

Les océans et le cycle de l'eau

L'eau est aussi indispensable à la vie que l'air que nous respirons et que l'énergie reçue du soleil. Son cycle naturel la fait passer par différents états (liquide, solide, gazeux) et elle circule en permanence entre terre, océan et atmosphère, par évaporation, condensation, précipitation... Son volume total sur la Planète est constant. Les océans contiennent 97, 5 % du volume total d'eau. Les 2,5 % restant sont constitués par l'eau douce, qui est une denrée très rare et inégalement répartie sur la Planète. Une grande partie de cette eau douce est piégée sous terre ou dans les glaces et n'est pas accessible. L'accès à l'eau douce est déjà l'un des enjeux majeurs du XXIème siècle pour l'humanité. La dessalinisation de l'eau de mer ou la captation de sources d'eau douce sous-marines jusque-là inaccessibles sont des solutions utilisées ou expérimentées pour augmenter les ressources en eau potable.

Les océans sources de nourriture

Les océans sont une réserve de nourriture pour les hommes : poissons et coquillages sont une véritable source de protéines. Les algues marines entrent dans la composition de nombreux aliments. Dans certains pays pauvres les produits de la mer sont la principale réserve de nourriture pour les communautés. Sans les océans ces communautés n'existeraient pas. Depuis plusieurs années, les prises de la pêche mondiale (133 millions de tonnes) stagnent malgré l'augmentation de l'effort de pêche et la tendance est à un épuisement des stocks naturels dans certaines zones surexploitées.

+ (**Pour en savoir plus :** *fiche 'Pêches responsables', fiche 'Ecosystèmes tropicaux' ; fiche 'Ecosystèmes d'Upwelling'*)

Les océans comme ressources énergétiques

Les océans recèlent encore de nombreuses ressources inaccessibles telles que le pétrole, les gaz naturels ou les minéraux que les compagnies offshore prospectent de plus en plus profondément. Des découvertes récentes de gisements d'hydrates de méthane (mélange d'eau et de méthane) pourraient apporter des réponses aux besoins énergétiques à venir. Mais ces ressources doivent être exploitées modérément et avec prudence pour éviter des dommages majeurs pour les environnements marins.



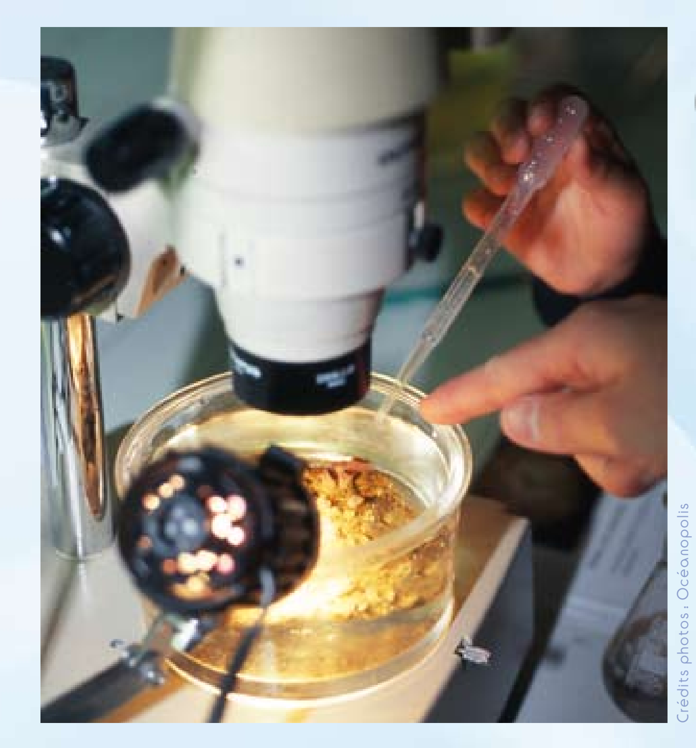
L'énergie des océans est aussi utilisée pour produire de l'électricité, refroidir les réacteurs des centrales nucléaires ou climatiser des bâtiments avec l'eau froide des profondeurs. Le développement des énergies renouvelables, notamment éoliennes (hydroliennes) en mer semble être une solution d'avenir en voie de concrétisation.

- Les océans, les déchets et les différentes formes de pollutions

80 % de la pollution marine est d'origine terrestre. Les océans sont tellement grands que depuis des années ils ont été utilisés comme une décharge pour toutes sortes de déchets et de rejets de produits industriels ou ménagers. On a longtemps considéré que l'océan était capable d'autoépuration. Ce fut longtemps le cas mais ceci est en train de changer. De nombreux types de pollutions existent. Les macro déchets sont les plus spectaculaires mais pas obligatoirement les plus dangereux. L'un des problèmes les plus préoccupants à l'heure actuelle est celui de l'accumulation et de la concentration des métaux lourds et des produits chimiques toxiques dans les chaînes alimentaires. Ces substances empoisonnent lentement les animaux et affectent leur reproduction. Ce phénomène aura aussi des implications majeures sur les populations humaines qui consomment des espèces marines en bout de chaîne alimentaire, donc très contaminées. Les métaux lourds sont également transportés par les vents. En provenance de toutes les régions industrialisées, ils s'accumulent en Arctique où la présence humaine est pourtant faible et ont des effets graves sur la faune et la flore de ces régions ainsi que sur les populations humaines locales.

- Les océans, sources de loisirs, de culture, d'activités socio-économiques

Depuis l'aube de l'humanité, les océans attisent l'imagination de l'homme. Lieux de transit et d'échanges de marchandises, terrain de brassage de cultures, de luttes et d'enjeux politiques, sources de légendes, de croyances, d'inspiration littéraire et artistique, les océans fascinent et font toujours rêver des générations entières d'êtres humains, une raison supplémentaire, s'il en fallait une, de les préserver ! Beaucoup d'entre nous les utilisent



Crédits photos : Océanopolis

comme terrain de loisirs : plonger, surfer, pêcher, nager, naviguer, voyager… mais aussi comme sources de profit en développant les activités socio-économiques les plus diverses.

Il ne tient qu'à nous de continuer !

Pistes d'exploitation pédagogiques

Motivez vos élèves… et vos collègues enseignants, par une approche pluridisciplinaire !

Pour toutes les raisons qui viennent d'être évoquées, l'océan est aujourd'hui une thématique importante, mais aussi passionnante, susceptible de mobiliser largement les élèves. Regroupant de multiples aspects, cette thématique peut être abordée par une approche pluridisciplinaire, à travers différents sujets et à différents niveaux d'enseignement. En regardant les océans sous plusieurs angles, les étudiants seront aptes à avoir une vision générale de ce que sont les problèmes, les menaces, mais aussi les solutions à mettre en place. Ils comprendront que seuls nous sommes des gouttes d'eau mais qu'ensemble nous formons un océan, pour agir pour l'avenir de la Planète et de l'humanité.

CF. tableau au verso

Comment travailler sur ces sujets ? Des outils et des supports

À partir des thématiques choisies, référez-vous aux différents outils, documents, fiches et expériences



Exemples de sujets à traiter, disciplines et matières associées

Sujets	Disciplines - Matières
Les chaînes alimentaires dans l'océan	Biologie
Habitats et écosystèmes marins	Biologie - Écologie
Identification et classification des êtres vivants	Biologie-Taxonomie - Systématique
Localisation - Noms des océans et des mers	Géographie - Cartographie - Mathématiques
Cycle de l'eau - Les différents états de l'eau	Physique -Géographie - Chimie - Biologie
Comment l'homme utilise les océans. L'exploitation des ressources	Sociologie - Géographie - Biologie
Les menaces qui pèsent sur les océans	Sociologie - Biologie - Géographie - Chimie
Population - Surpopulation humaine	Démographie- Géographie
Physique et chimie de l'eau	Chimie - Physique
Le temps, le climat, la météo	Climatologie - Météorologie - Géologie
L'industrie de la pêche	Sociologie - Géographie
Comprendre le vocabulaire environnemental	Maîtrise de la langue
Les explorateurs	Histoire - Actualité
Écriture sur le thème de l'océan	Littérature
Sons de la mer	Musique
Les océans sources d'inspiration artistique	Arts plastiques

pratiques, films, liens Internet et autres ressources documentaires fournies dans le kit pédagogique EUR-OCEANS et sur le site Internet (www.eur-oceans.info) pour construire votre projet pédagogique. Les informations contenues dans ces différents supports vous permettront de le bâtir en vous appuyant sur des informations et des données tenant compte des derniers résultats scientifiques en la matière.

- **Concrétisez votre projet et donnez-lui du sens par une réalisation commune des élèves**

Les différentes taches que vous aurez assignées à vos élèves pourront se traduire par une mise en commun et une réalisation de groupe témoignant des connaissances qu'ils auront acquises, de leur investissement et permettant de montrer le travail réalisé :

Réalisation d'un film ou d'un scénario de film; présentation d'un diaporama, reportage ou article sur un sujet d'actualité, interview d'un scientifique, création d'un jeu sur l'environnement ou le climat, réalisation de posters, d'une exposition, lettre aux décideurs et aux politiciens, livret, écriture d'une histoire, sculpture utilisant des matériaux recyclables, autres créations artistiques…

- **Utilisez votre Aquarium local ou l'un des centres de culture scientifique du réseau EUR-OCEANS pour vous aider à enseigner ces notions**

Les Aquariums et Centres de culture scientifique membres du réseau EUR-OCEANS mettent leurs compétences éducatives à votre service et vous proposent des ateliers éducatifs sur ces sujets complexes et parfois sensibles. Ils peuvent vous aider à bâtir votre projet et imaginer avec vous une activité spécialement adaptée à votre attente. Ces structures ont des liens avec les scientifiques qui étudient le changement climatique et les océans d'une façon générale. Ils peuvent organiser des conférences et des sessions de « questions-réponses » avec ces spécialistes. En visitant votre Aquarium local, vous pourrez découvrir la vie marine qui sera directement affectée par ces bouleversements et utiliser ces outils pédagogiques. Vous pourrez alors vous appuyer sur une vision réelle des écosystèmes marins qui y sont fidèlement reconstitués, pour aborder des notions comme celle des relations alimentaires ou des espèces menacées à partir de l'observation directe du milieu marin et des formes de vie qui le peuplent.

Ces différentes possibilités de collaboration ou ce type de visite peuvent marquer le point de départ de votre projet, sa conclusion, ou en être le fil directeur tout au long de l'année scolaire, en vous aidant à atteindre vos objectifs!



Aujourd'hui, l'impact des changements climatiques sur les océans est une réalité...

Augmentation du niveau des océans

Depuis 1880 ans le niveau moyen de la mer a augmenté de 17 cm de façon constante (0.13 mm par an en moyenne). Sous l'influence de la hausse de température, cette élévation est due principalement à la dilatation de l'eau de mer, à la fonte du permafrost (portion de sol gelée en permanence dans les régions froides) et à la fonte des glaces d'eau douce (glaciers continentaux et Inlandsis du Groënland). Selon les différentes modélisations scientifiques, le niveau des océans pourrait augmenter de 18 à 59 cm d'ici à 2100. Une telle hausse aurait un impact considérable sur les zones côtières à forte concentration humaine, comme le delta du Nil, les côtes de l'Inde, certains îlots du Pacifique...

Perturbation potentielle de la circulation des masses d'eau océaniques

Le réchauffement climatique et la fonte des glaces d'eau douce, en modifiant la densité des eaux de surface, peuvent entraîner à terme une perturbation et une modification de la circulation actuelle des grands courants océaniques.

Diminution de la surface occupée par la banquise arctique

Depuis la deuxième moitié du XXème siècle, la banquise arctique a perdu 40 % de son épaisseur et la surface occupée par la banquise d'été est en constante diminution. Les mesures effectuées à la fin de l'été depuis 1978 montrent une perte moyenne de 8 % tous les dix ans. Au-delà des impacts sur la faune associée à cet habitat (ex : l'ours polaire), cette nouvelle situation amène des interrogations sur les enjeux socio-économiques majeurs de navigation et d'exploitation des ressources dans des zones jusque-là inaccessibles. Elle pose également la question du statut politique de l'Arctique.

Amplification du réchauffement par effet rétroactif

La diminution de la surface des zones glacées entraîne une absorption plus importante de la chaleur reçue à la surface de l'eau (les glaces, surfaces blanches, réfléchissent plus les rayons solaires que l'eau, surface sombre). Ce phénomène peut avoir un effet rétroactif sur le réchauffement. En fondant, les surfaces gelées libèrent aussi des gaz à effet de serre puissants comme le méthane.

Migrations et déplacements d'espèces, perturbation des réseaux alimentaires

L'augmentation moyenne des températures provoque déjà dans certaines régions des migrations et des déplacements d'espèces marines, ce qui implique une modification des équilibres au niveau des chaînes et des réseaux alimentaires. Les espèces qui ne pourront pas migrer ou s'adapter à ce réchauffement et à cette compétition risquent de disparaître.

Acidification des océans et menaces sur la biodiversité

Autre impact récemment constaté, l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère a un effet sur la chimie des océans en acidifiant l'eau de mer. Ce phénomène a déjà commencé à altérer la croissance, la reproduction et la survie de certains organismes aquatiques, utilisant le carbonate de calcium pour former leur squelette ou leur coquille calcaire, comme les coraux ou les mollusques. Si, comme semblent l'indiquer les tendances actuelles, la production de CO_2 continue à augmenter, ces organismes seront sérieusement menacés et cela risque d'entraîner des réactions en chaîne au sein de l'ensemble des écosystèmes marins.

Source :

Rapport IPCC (GIEC) 2007, NSIDC (World data Center for glaciology, Boulder, USA)



Les chaînes alimentaires dans les eaux polaires

Dans les mers polaires, au moment de la fonte des glaces, lorsque les longues nuits d'hiver laissent la place au soleil de minuit, on assiste à une véritable explosion de la vie planctonique. Cette nourriture abondante constituera le festin d'animaux beaucoup plus grands, comme les oiseaux ou les mammifères marins.

En pleine eau

Durant le court été polaire, l'augmentation de la quantité de lumière et la présence de sels minéraux en suspension dans l'eau favorisent le développement du phytoplancton qui servira de nourriture au zooplancton dont le fameux krill. La vie se développe dans les endroits libérés par les glaces et riches en sels nutritifs. Pour lutter contre le froid de l'hiver prochain, les grands prédateurs doivent reconstituer rapidement leurs réserves de graisse. Beaucoup d'entre eux s'attaquent directement aux premiers maillons des chaînes alimentaires (krill, poissons, calmars). Des prédateurs de grandes tailles comme les phoques crabiers, les baleines à fanons, les bélugas et les narvals se nourrissent de proies relativement petites.

Une chaîne alimentaire courte, constituée de quelques maillons seulement, diminue les pertes d'énergie d'un bout à l'autre de la chaîne.

Les schémas sont les mêmes, que l'on soit en Arctique ou en Antarctique, avec des espèces différentes appartenant aux mêmes groupes zoologiques (pinnipèdes, cétacés) ou à des groupes différents mais montrant de fortes similitudes (les manchots en Antarctique, les pingouins et les guillemots en Arctique).

Sur le fond

La vie sur le fond est également très diversifiée. Les animaux benthiques profitent des détritus



Crédits photos : Dave Bowden

Groupe de brachiopodes (*Liothyrella uva*)

produits par le plancton et par ses prédateurs. En Arctique, les sels minéraux d'origine continentale apportés par les fleuves et les rivières favorisent le développement de la vie. En Antarctique, ce n'est pas le cas. De plus, l'étroitesse du plateau continental limite l'habitat pour la flore et la faune. C'est par le biais de phénomènes océanographiques complexes que les eaux de surface sont enrichies par les remontées d'eau de fonds riches en sels minéraux.

Sur la terre

En Arctique, l'ours blanc crée un lien entre les réseaux alimentaires marins et terrestres. En été, l'ours survit dans la toundra libérée de sa couverture neigeuse. La vie s'active alors, les déjections des mammifères (renards arctiques) fertilisent les sols et favorisent la croissance des plantes qui seront broutées par des rongeurs (lemmings).

Sous la glace

Pendant l'hiver, des micro-organismes sont piégés dans les bulles d'air emprisonnées dans la glace. Dès les premiers rayons du soleil, à travers cette glace, les algues vont se développer. Le printemps commence sous la glace.



Influence de l'homme sur l'atmosphère

L'augmentation des gaz à effet de serre

Comme nous l'avons vu précédemment, l'effet de serre est important, car il maintient une température idéale pour la vie sur la Terre. Depuis un siècle, les activités industrielles et la démographie sont en constante augmentation et provoquent une modification de la composition de l'air. Les concentrations en gaz à effet de serre ont augmenté, elles induisent un réchauffement de la Terre.

Le dioxyde de carbone - CO_2

La quantité de dioxyde de carbone connaît une augmentation directement proportionnelle aux activités industrielles de l'homme. Cette augmentation est le résultat de la combustion du pétrole, du gaz naturel, du charbon. L'homme, par ses activités quotidiennes, modifie la composition de l'atmosphère. Les rejets de CO_2 varient beaucoup d'un pays à l'autre. Les pays industrialisés produisent 10 à 20 fois plus par habitant que les pays en voie de développement. L'analyse des bulles d'air dans la glace montre que nous arrivons à des valeurs jamais atteintes auparavant.

Le méthane - CH_4

En 200 ans, la population mondiale est passée de 1,6 à 5 milliards d'habitants. Cette explosion démographique a généré un développement de la production agricole. Ainsi, les ruminants qui dégradent la matière organique en milieu anaérobie (sans oxygène) lors de leur digestion produisent du méthane. Les rizières, les marécages et même les termites sont également des sources naturelles de méthane. La concentration en méthane dans l'air a doublé en 200 ans.

Les chlorofluorocarbones CFC Fréon (nom commercial)

Les CFC participent également à l'effet de serre. Ce sont des molécules très stables chimiquement, ce qui a favorisé leur utilisation. Leur concentration a augmenté de 17 % depuis les années 50. Depuis le protocole de Montréal en 1987, des gaz de substitution remplacent les fréons simples. Ces nouveaux gaz sont sans effet sur l'ozone, mais sont très actifs pour l'effet de serre.

Les concentrations de ces différents gaz sont variables, leur efficacité pour absorber les infrarouges est aussi très variable :

- une molécule de méthane est 20 fois plus active qu'une molécule de gaz carbonique
- une molécule de CFC est 10 000 fois plus active qu'une molécule de gaz carbonique.

Au rythme actuel d'émission de ces gaz, il est prévu un doublement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère d'ici 2030 (dans deux générations).



Océans



L'ozone, un bouclier percé

L'ozone dans la stratosphère

L'ozone est fondamental pour le maintien de la vie sur Terre en absorbant la majeure partie des ultraviolets nocifs. Cette couche d'ozone se situe dans la stratosphère. L'ozone est composé de trois atomes d'oxygène.

Depuis 1978-1979, on constate un déficit important dans cette couche au-dessus de l'Antarctique au début du printemps austral (septembre et octobre).

Ce déficit entraîne une augmentation de 20 % des ultraviolets atteignant la surface de la Terre (au début novembre quand le soleil réchauffe la région).

Les ultraviolets B ont un effet nocif sur la biosphère : cancer de la peau chez l'homme et les animaux, inhibition de la photosynthèse, mutation génétique.

À nos latitudes, on constate une diminution de la couche d'ozone de 6 à 8 % et au-dessus du Pôle Nord une baisse allant jusqu'à 20 %.

Depuis 1987, à Montréal, un protocole réglemente la production de CFC et leurs utilisations. Il préconise leur remplacement par des gaz de substitution, mais même si on arrête toute production et utilisation de CFC, les scientifiques ne prévoient pas la régénération de la couche d'ozone avant la fin du siècle prochain.

Les chlorofluorocarbones CFC sont utilisés ou étaient utilisés dans les aérosols, dans les systèmes réfrigérants (congélateurs, réfrigérateurs), dans des emballages de produits alimentaires.

Que se passe-t-il dans la stratosphère ? Comment les CFC détruisent l'ozone atmosphérique ?

Les chlorofluorocarbones sont détruits par les rayonnements solaires et produisent des atomes de chlore.

Ces atomes de chlore réagissent avec l'ozone pour former un monoxyde de chlore (oxygène + chlore). Celui-ci se combine à un atome d'oxygène pour donner une nouvelle molécule d'oxygène et un atome de chlore actif capable de détruire une nouvelle molécule ozone. Ainsi, un atome de chlore peut détruire plusieurs molécules d'ozone.

L'ozone dans la troposphère

Dans la troposphère (entre 0 et 10 km), il y a production d'ozone, mais dans ce cas cet ozone est dangereux pour nous, causant des gênes respiratoires et endommageant les végétaux de façon irréversible. La quantité d'ozone a doublé en 100 ans. Cet ozone produit par la pollution industrielle et automobile a doublé en un siècle. Certains jours au-dessus des très grandes agglomérations, la quantité d'ozone est multipliée par 10.



Les héros du froid

La vie est très rude dans le monde polaire, le froid permanent peut descendre en dessous de - 50° C. L'hiver, les blizzards sont violents et glacials. La neige et la glace recouvrent tout. L'été, la température reste toujours proche de zéro. Les animaux résistent au froid de différentes manières.



La sterne arctique

À la fin de l'été, la sterne arctique quitte l'Arctique pour rejoindre l'Antarctique, réalisant ainsi la plus grande des migrations animales (40 000 km aller-retour). Son plumage très isolant lui permet de résister au froid. Cette sterne possède une couche de duvet sur la peau doublée par des plumes superposées. Cette couche externe est imperméabilisée par une imprégnation d'huile, fabriquée par une glande proche de la queue et enduite sur le plumage à l'aide du bec.



La sterne arctique



L'ours Blanc

L'ours blanc

L'ours blanc ne vit qu'en Arctique. C'est le maître incontesté du vaste domaine arctique.

Pour lutter contre le froid, sa fourrure dense l'aide énormément. Elle est composée d'une couche inférieure très fournie, protégée par de longs poils de garde externes. Lorsque les poils sont mouillés, ils se collent les uns aux autres, formant une barrière imperméable. Sous la peau noire, une épaisse couche de lard isole l'animal du froid et fait office de réserve d'énergie. C'est dans cette réserve que l'organisme va puiser pour survivre. La taille de ses oreilles est liée à son milieu de vie : celles-ci sont petites et perdent donc peu de chaleur.

L'ours blanc se déplace aisément sur la banquise. Chez cet animal, les pattes sont légèrement arquées et les doigts de pied tournés vers l'intérieur. Les poils protégeant les pieds, l'isolent du sol gelé.



Crédits photos : Océanopolis

Les morses

Le morse

Ce mammifère marin est superbement adapté au mode de vie arctique. Protégé par une couche de graisse, il possède quatre membres aplatis qui en font un excellent nageur. L'été, on assiste à des regroupements de morses sur la banquise. Les morses se serrent les uns contre les autres de manière à conserver leur chaleur. La couche de graisse des morses dépasse souvent 10 cm d'épaisseur. C'est une excellente isolation que l'on retrouve sous la peau épaisse et coriace. Quand il fait trop froid, les morses préfèrent s'ébattre dans l'eau.





Crédits photos : Océanopolis

Le poisson des glaces

Le poisson des glaces

Pour lutter contre le froid, le poisson des glaces produit des substances qui préviennent la création de glace. Ces antigels s'associent aux cristaux en formation et empêchent d'autres molécules de s'y fixer. Son système enzymatique est efficace, il lui permet de rester actif à basse température. Son métabolisme dans une eau à 0° C est proche de celui d'un poisson d'eau tempérée à 20° C. Les globules rouges sont inutiles pour transporter l'oxygène dans son organisme, ce gaz étant très soluble dans l'eau de mer froide. L'absence de globules rouges donne aux branchies et aux organes internes une couleur «blanc crémeux». Signalons que ce poisson meurt de chaud au-delà de 5 °C !

Le manchot empereur

Au début du mois d'avril, le manchot empereur entreprend un voyage de 100 km vers le sud pour rejoindre ses sites de nidification sur les glaces. On est au cœur de l'hiver. Dans l'Antarctique, les manchots empereurs pondent et couvent leur œuf en plein blizzard à - 40° C. C'est le mâle qui couve l'œuf. Pendant cette période, il peut perdre jusqu'à la moitié de son poids.

Pour résister au froid, le manchot possède différentes adaptations, mais sa grande taille ne l'aide pas à réduire la perte de chaleur.

Pour se maintenir au chaud, les mâles incubateurs s'assemblent en groupes compacts, afin d'économiser de l'énergie. C'est au centre du groupe que les oiseaux ont le plus chaud. Les oiseaux se relaient pour occuper tour à tour les places les plus exposées. Les manchots se maintiennent souvent le dos tourné au vent qui souffle sans cesse.

Un groupe serré peut réduire les pertes de chaleur jusqu'à 50 %.

D'autres éléments morphologiques ou anatomiques vont permettre au manchot empereur de lutter contre le froid.

- Son bec est petit, il réduit les déperditions de chaleur, la plus grande partie de l'air chaud contenu dans les cavités nasales est recyclée.
- Ses plumes sont denses, disposées sur plusieurs couches imperméables, elles se recouvrent un peu comme les ardoises sur un toit. Ce plumage et la peau souple du manchot sont doublés d'une épaisse couche de graisse. Cette graisse protège l'oiseau des chocs lorsqu'il jaillit hors de l'eau pour prendre pied sur la glace.
- Ses pieds sont de petite taille. La surface d'échange avec l'air froid et la glace est ainsi réduite, les pertes de chaleur diminuent.

Ainsi protégé, le manchot peut s'ébattre des heures entières dans une eau à 0° C qui tuerait instantanément un homme.



Crédits photos : Océanopolis

Le manchot empereur



Le krill

Le mot « *krill* » inventé par les baleiniers norvégiens signifie « menu fretin ». Il regroupe une dizaine d'espèces de crustacés de pleine eau qui peuvent mesurer jusqu'à 4 cm.
Le zooplancton constitue la principale nourriture des oiseaux de mer, des phoques et des baleines dans les eaux polaires. Le krill antarctique est constitué principalement par *Euphasia superba* tandis que dans les eaux froides et tempérées de l'hémisphère nord, une autre espèce domine *Meganyctiphanes norvegica*.



Le comportement alimentaire du krill en fonction des saisons

Le krill est omnivore. Son régime alimentaire permet donc de s'adapter à la nourriture présente selon la saison.

En été, il se regroupe en essaims pouvant recouvrir une surface de 500 km et peser 2 millions de tonnes. Le krill se déplace à la vitesse de 500 mètres par heure. Ces essaims de milliards d'animaux filtrent efficacement le phytoplancton dans le sillage de la banquise flottante.

En hiver, le krill perd du poids. Il doit se contenter des rares algues planctoniques encore présentes. Son régime alimentaire change, il consomme des œufs, des larves et les détritus du zooplancton. Il peut même manger sa propre progéniture. Pendant cette période de disette, il brosse le dessous de la banquise à l'aide de ses pattes thoraciques en forme de peigne pour collecter les algues qui poussent sous la glace.

Les intérêts écologiques et économiques du krill et des copépodes

En Antarctique, la biomasse du krill est estimée, en période saisonnière des glaces, entre 200 et 600 millions de tonnes. Le krill produit chaque année 215 millions de tonnes de nouveaux individus. L'espèce *Euphausia superba* figure parmi les animaux les plus abondants de notre planète.



Crédits photos : BAS / Chris Gilbert

Le krill antarctique (*Euphausia superba*)



Crédits photos : BAS / Chris Gilbert

Les capture de krill souvent représentent des milliers d'individus



Crédits photos : Océanopolis / B. Lampert

Cependant, les copépodes, qui sont de petits crustacés planctoniques, ont une production annuelle dix fois supérieure à celle du krill.
Le krill joue un rôle majeur dans l'écosystème antarctique. Chaque année, les baleines en consomment plus de 30 millions de tonnes, les phoques, 70 millions de tonnes et les oiseaux marins, 40 millions de tonnes.
Les 36 millions de couples d'oiseaux qui nichent sur la seule île de Géorgie du Sud ont un régime alimentaire constitué au 3/4 par du krill. Le phoque crabier qui se nourrit exclusivement de krill représente une population de 12 millions d'individus. Une baleine bleue peut engloutir 3 tonnes de krill par jour.
Le krill représente aussi une ressource utilisable par l'homme. La pêche qui a débuté dans les années soixante devra être contrôlée étant donné l'intérêt écologique fondamental du krill dans le réseau alimentaire marin antarctique.



Les phoques

Caractères adaptatifs à la vie marine

- Le phoque est un mammifère marin.
  - Mammifère car il allaite ses petits, respire grâce à des poumons et a une température interne constante.
  - Marin car il se nourrit d'animaux vivant en mer.
- Les membres antérieurs et postérieurs d'un phoque sont adaptés à la nage, ils sont palmés.
- Le phoque se sert de ses pattes arrières pour se propulser sous l'eau, mais celles-ci ne lui sont d'aucune utilité sur la banquise. Les pattes avant servent de gouvernail. Munies de cinq grosses griffes, elles permettent au phoque de creuser la glace.
- Quand il plonge dans les profondeurs sombres, ses pupilles se dilatent pour capter la plus faible lueur.
- Les oreilles sont des trous situés de chaque côté de la tête. Quand le phoque plonge, ses oreilles se ferment pour éviter les entrées d'eau.
- Les narines sont fermées dans l'eau et ouvertes dès que le phoque remonte à la surface pour respirer.
- Les vibrisses permettent au phoque de détecter les vibrations de l'eau provoquées par ses proies et ses prédateurs.





Crédits photos : Océanopolis

Le phoque est doté d'un volume sanguin beaucoup plus important que le nôtre. Très riche en globules rouges, son sang peut emmagasiner une quantité beaucoup plus élevée en oxygène. Ceci, lié à une réduction des pulsations cardiaques passant de 150 à 20 par minute selon la profondeur, peut expliquer les performances de plongée.

Ainsi le phoque de Wedell peut descendre jusqu'à 550 m de profondeur durant une apnée d'une heure.

Le phoque possède une denture particulière adaptée à son régime alimentaire. Chez la plupart des phoques, les dents pointues permettent de maintenir et de déchiqueter les proies.

Beaucoup de phoques subissent encore une pression de chasse pour leur fourrure ou leur graisse destinée à fabriquer une huile de qualité.



Les manchots

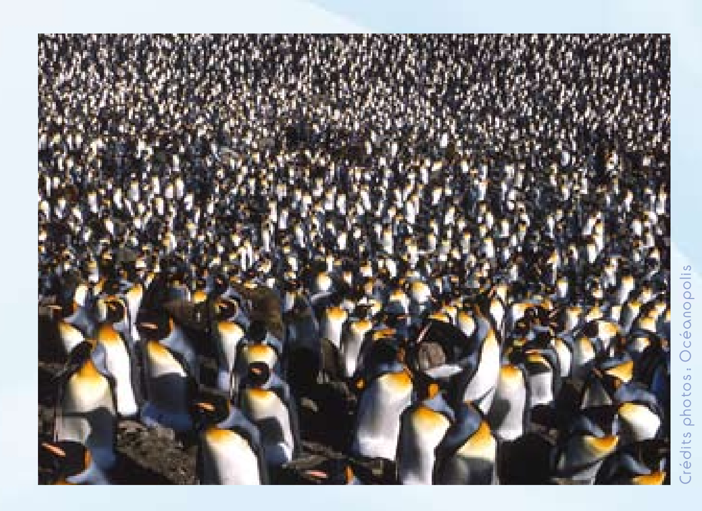
Dans l'hémisphère Sud, tous les oiseaux ne volent pas, certains se servent de leurs ailes pour nager : ce sont les manchots, qu'il ne faut pas confondre avec les pingouins qui peuvent voler. Seule la langue française distingue par le nom ces deux familles d'oiseaux, qui sont pourtant bien différentes.

Les manchots et les gorfous appartiennent à la même famille, les sphéniscidés qui comptent 17 espèces, toutes établies dans l'hémisphère Sud entre 45° et 55° de latitude. Certains atteignent des effectifs de plusieurs millions ou dizaines de millions d'oiseaux. Seuls les manchots empereurs et les manchots Adélie se reproduisent sur le continent Antarctique. Les autres espèces s'observent sur les îles subantarctiques et sur les côtes d'Amérique latine, d'Afrique australe, d'Australie, de Nouvelle-Zélande et aux îles Galapagos pour la plus nordique d'entre elles. Quant aux pingouins, ils vivent dans l'hémisphère Nord et appartiennent à la famille des Alcidés. Dans cette famille, on trouve un petit pingouin appelé pingouin torda (c'est le seul pingouin qui reste dans l'hémisphère nord), les guillemots, les macareux, les mergules.



Les adaptations à la nage

Manchots et pingouins ont un point commun : c'est leur mode d'alimentation. Ils chassent sous l'eau pour se nourrir de poissons, de calmars ou de plancton. Chez les manchots, les ailes transformées en ailerons sont de véritables palettes natatoires. Sous l'eau, ces pagaies servent de propulseurs tandis que les pieds et la queue jouent le rôle de gouvernail. Les manchots sont ainsi devenus des oiseaux marcheurs et nageurs. Ce sont les oiseaux les plus spécialisés à la vie en mer. Ils sont vraiment taillés pour la nage. De plus, leur cou minuscule et leur corps rigide leur permettent de fendre l'eau facilement. Les plumes courtes et plates les aident à glisser dans les vagues. En entrant dans l'eau, les manchots ferment bien le bec et les narines, mais



Crédits photos : Océanopolis

gardent les yeux ouverts. Avant de sortir de l'eau, ils accélèrent, puis jaillissent hors de l'eau, droits comme des fusées avant d'atterrir sur leurs pieds. Ils peuvent aussi se servir de leurs pattes griffues pour grimper sur la banquise. À terre sur les étendues gelées, ils peuvent se déplacer en glissant sur le ventre, en s'aidant de leurs ailes et de leurs pattes.

Mode d'alimentation

La plupart des espèces de manchots se nourrissent près de la surface de l'eau principalement de petits poissons et de crevettes planctoniques. Les manchots peuvent chasser en groupe derrière des bancs de poissons qu'ils avalent directement. Les grandes espèces plongent plus profondément pour trouver leurs proies. Les manchots papous peuvent descendre à 100 m, les manchots empereurs à 250 m. Ils nagent assez rapidement (de 10 à 15 km par heure).

Mode de communication

Chez les manchots, le chant est utilisé comme moyen de reconnaissance. Il est différent d'un individu à l'autre. Dans un couple, le chant permet aux deux oiseaux de ne pas perdre le contact aussi bien à terre qu'en mer. Cette reconnaissance vocale est très importante chez les manchots empereurs qui forment des colonies de dizaines de millions d'individus. Ne construisant pas de nid et ne marquant pas leur territoire, le chant est le seul moyen qu'ont les parents pour se retrouver et reconnaître leur poussin.



L'acidification des océans

L'acidification des océans : un nouvel enjeu

Effet pervers de l'ère industrielle, l'augmentation du gaz carbonique (CO_2) rejeté dans l'atmosphère influe non seulement sur le changement climatique, mais aussi, et l'on commence seulement à en mesurer la gravité, sur la chimie des océans. En clair : l'eau de mer devient plus acide (son pH diminue), à une vitesse et dans des proportions alarmantes. James Orr, directeur de recherche au CEA et Jean-Pierre Gattuso, directeur de recherche au CNRS, membres d'EUR-OCEANS, affirment que d'ici 50 ans, l'acidification des océans aura inévitablement altéré la croissance, la reproduction et la survie de certains organismes de la faune et de la flore aquatiques. Seule parade à l'heure actuelle : alerter l'opinion publique, les gouvernements et miser sur la responsabilisation de chacun. Un enjeu relayé par les scientifiques du réseau d'excellence EUR-OCEANS. Les océans couvrent les deux tiers de la surface de notre planète. Ils abritent une diversité de vie incroyable et fournissent des ressources inestimables à notre société. Ils jouent aussi un rôle essentiel dans la régulation du climat et des cycles biogéochimiques, notamment par leur capacité à absorber le dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère. Or, plus les océans absorbent de CO_2, plus leur pH diminue. C'est ce que l'on appelle « l'acidification » des océans.

L'impact de l'acidification des océans : une découverte récente

La mise en évidence de l'effet de l'acidification des océans sur les organismes et écosystèmes marins est en effet récente. Les premières expériences ont été réalisées en 1985, sur des algues calcaires, par Agegian et Mackenzie, chercheurs à l'Université de Hawaï. En 1998, Jean-Pierre Gattuso, alors au Centre Scientifique de Monaco, et ses collaborateurs, obtiennent les premiers résultats sur des coraux tropicaux. On sait à présent que la fabrication de calcaire par les


Crédits photos : AWI

Pteropod

organismes marins diminue de 20 à 50 % dans des conditions identiques à celles qui sont attendues en 2100. Par ailleurs, à ceci s'ajoute depuis peu un constat encore plus préoccupant : on prédit que dans 20 à 50 ans, l'acidification rendra les eaux des régions les plus froides de la planète corrosives à l'aragonite, cette variété de carbonate de calcium utilisée par de nombreux organismes pour fabriquer leurs squelettes externes.

Un changement d'une rapidité fulgurante

Au cours des 200 dernières années, qui correspondent à l'émergence et au développement de l'ère industrielle, les océans ont absorbé près de la moitié du CO_2 issu de la combustion des carburants fossiles : charbon, gaz naturel, pétrole, soit 120 milliards de tonnes ! Conséquence : le pH de ces eaux a chuté de 0, 1 unité au cours du XXe siècle.

En 2006, ce sont chaque jour plus de 25 millions de tonnes de gaz carbonique qui se combinent avec





l'eau de mer. L'augmentation des émissions de CO_2 atmosphérique suit une courbe exponentielle. Ainsi, durant le siècle à venir l'acidification risque de se poursuivre à une vitesse presque mille fois supérieure à toute variation naturelle depuis au moins 600 milliers d'années, entre les périodes froides (glaciaires) et chaudes (inter-glaciaires).

Certitudes et incertitudes

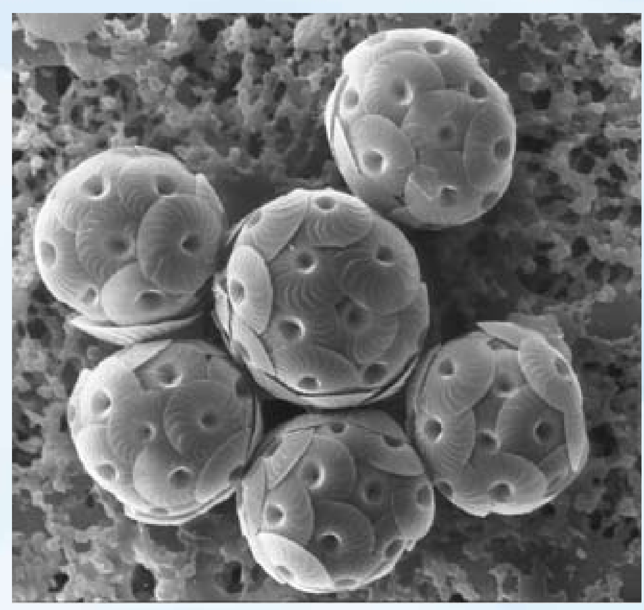
Si, comme semblent l'indiquer les tendances actuelles, la production de CO_2 liée aux activités humaines continue d'augmenter, le pH des eaux de surface océaniques pourrait diminuer, d'ici à la fin du siècle, de 0,5 unité. Il s'agirait du pH le plus bas jamais enregistré depuis des millions d'années. Ce changement dans la chimie des océans est quantifiable et prévisible. En revanche, les conséquences de l'acidification sur les organismes marins sont encore mal connues. Néanmoins, les premières études expérimentales suggèrent que celle-ci constitue une menace réelle pour la survie de certaines espèces. Les scientifiques soulèvent l'urgence de multiplier les recherches. L'acidification des océans est un processus irréversible à l'échelle de nos vies, puisqu'il faudrait des dizaines de milliers d'années pour revenir à une chimie des océans identique à celle d'il y a 200 ans. Comme l'ampleur du phénomène varie selon les zones géographiques, il est difficile d'estimer l'impact sur les organismes marins et les écosystèmes. Toutefois, les scientifiques disposent déjà d'évidences.

- L'acidification entraîne la diminution de la concentration des ions carbonates, éléments nécessaires à la construction de squelettes et coquilles de nombreux organismes marins, dits calcifiants. Des prédictions basées sur des modèles numériques suggèrent que dans 50 ans, les eaux de surface de l'Océan Austral seront corrosives pour une forme de calcaire nommée « aragonite » qui constitue la coquille des ptéropodes. Ces petits escargots planctoniques présents en très grand nombre dans les eaux polaires de la planète, pourraient donc disparaître. Or, ils sont à la base de l'alimentation de nombreuses espèces comme le zooplancton, la baleine, mais aussi des poissons commerciaux comme le saumon. Cela pourrait aussi entraîner une perte importante de diversité.
- D'ici 100 ans, l'acidification affectera le processus de calcification permettant à des organismes tels les coraux, les mollusques et le phytoplancton calcaire, de fabriquer leurs squelettes externes ou coquilles. Les coraux tropicaux et subtropicaux seraient les plus fortement touchés, ce qui nuirait à la stabilité et à la longévité des récifs et mettrait en péril les nombreux organismes et populations humaines qui en dépendent. Les coraux des eaux froides, que l'on commence à peine à étudier, s'avéreraient également menacés. Les conséquences à terme sur l'ensemble des organismes et écosystèmes marins demeurent pour autant difficiles à prédire. Comment vont réagir les espèces non encore étudiées à l'acidification de leur milieu ? Pourront-elles s'adapter aux inéluctables changements en cours ? Quelle sera l'interaction avec d'autres facteurs, par exemple l'augmentation de la température des océans ? Autant d'inconnues auxquelles les scientifiques tentent de répondre.



Urgence : stabiliser voire réduire le taux d'émission de CO_2 dans l'atmosphère

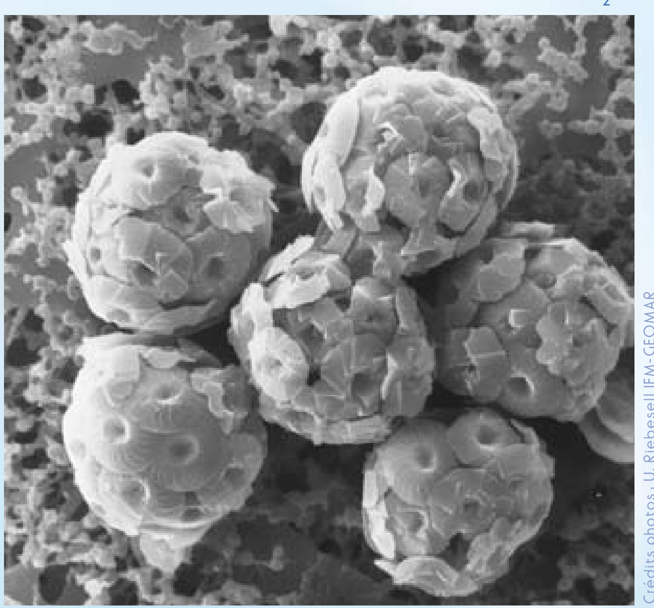
Devant l'ampleur de ce problème, dû majoritairement à l'industrialisation, seul l'homme est en mesure de freiner si ce n'est d'enrayer le processus, par la diminution de ses émissions de CO_2 dans l'atmosphère. James Orr : « *De nombreuses solutions partielles existent déjà pour réduire nos émissions de CO_2. Ce qu'il manque, c'est la volonté, de notre part aussi bien que de celle de nos décideurs politiques. Si chacun de nous pouvait commencer à réfléchir aux émissions de CO_2 (11 kg par jour et par personne, dont 4 kg absorbés par l'océan) et à la façon de les réduire, ça serait déjà un bon début* ».



Calcidiscus (conditions expérimentales simulant le niveau actuel de pression partielle de CO_2) I

Un film de 6 minutes pour informer et sensibiliser le grand public

Le réseau d'aquariums/musées européens d'EUR-OCEANS poursuit ses efforts pour sensibiliser le grand public, notamment les enfants et adolescents, citoyens du futur. Une des clés de la prise de conscience est bien entendu l'information. Afin de faciliter les échanges et la communication entre les scientifiques et le grand public, le réseau EUROCEANS a déjà pris un certain nombre d'initiatives, comme la mise en place d'un site Web, un programme éducatif à destination des scolaires, des conférences on-line, etc. Pour accompagner cette campagne de sensibilisation aux problèmes liés à l'acidification des océans, les aquariums européens projetteront dès l'été 2006 un film de six minutes tourné par l'équipe d'Océanopolis Brest.



Calcidiscus (conditions expérimentales simulant le niveau de pression partielle de CO_2 qui pourrait être atteint d'ici la 2100)

Crédits photos : U. Riebesell IFM-GEOMAR



Gulf Stream : la chute d'un mythe ?

Changements climatiques en Atlantique Nord au XXI[e] siècle : quelle est la véritable importance du Gulf Stream pour le climat en Europe ?

Il est généralement admis que le caractère tempéré du climat de l'Europe de l'Ouest est dû à la douceur apportée par le Gulf Stream. Cette certitude « populaire » se retrouve partout, que ce soit dans les livres de géographie, les guides touristiques, les encyclopédies… Selon des travaux scientifiques récents, il semble que le Gulf Stream ralentisse sous l'effet du changement climatique global. Certains vont jusqu'à prédire son arrêt, avec pour conséquence l'arrivée d'une nouvelle ère glaciaire sur l'Europe de l'Ouest…

Cependant, d'autres travaux scientifiques relativisent le rôle du Gulf Stream dans le transfert de chaleur du sud vers le nord. Et dans ces circonstances, un ralentissement du Gulf Stream n'aurait pas les conséquences catastrophiques prédites par certains.

Quelle est la véritable importance du Gulf Stream sur le climat de l'Europe ? Que va-t-il se passer en Atlantique nord dans un contexte de réchauffement global ? Quels sont et quels seront les impacts sur les écosystèmes marins au cours du XXI[ème] siècle ?

De la véritable influence du Gulf Stream : les premières observations

Les Amérindiens connaissaient probablement le Gulf Stream bien avant la découverte de l'Amérique. Mais mention en est faite pour la première fois en 1513, quand le navigateur espagnol Ponce de León constate qu'un très important courant d'eau chaude provenant de la mer des Antilles emporte ses navires au large de la Floride. Il faut attendre 1770 pour que Benjamin Franklin, qui cherchait à améliorer le temps de transport du courrier avec la Grande-Bretagne, réalise la première étude approfondie et une cartographie détaillée du Gulf Stream.



Crédits photos : Océanopolis

En 1855, le lieutenant de marine américain Matthew Fontaine Maury publie « The Physical Geography of the sea and its meteorology ». Dans ce premier grand ouvrage d'océanographie, l'auteur souligne le rôle essentiel du Gulf Stream sur la régulation des températures hivernales en Europe de l'Ouest. Il en fait le seul responsable des conditions climatiques particulièrement douces en Europe, comparées à celles de la côte Est du Canada. Aujourd'hui encore, cette assertion fait largement foi, et pour beaucoup, il ne peut en être autrement.

Sous le prisme des changements climatiques

Le réchauffement climatique entraîne une augmentation importante des apports d'eau douce dans les zones arctiques ; d'une part, en raison de la fonte des glaces et, d'autre part, à cause de l'intensification des précipitations.

Les eaux de l'Atlantique Nord montrent des élévations de température, alors que leur salinité a sensiblement diminué ces dernières décennies. Toutes ces modifications pourraient avoir des conséquences sur le fonctionnement de l'océan, dont on connaît le rôle essentiel dans la régulation du climat.

De nombreuses questions se posent aujourd'hui : ces phénomènes régionaux auront-ils un impact majeur sur le Gulf Stream et les courants de l'Atlantique Nord ? Cela peut-il vraiment affecter le climat européen ? Et comment ?



La chute du mythe ? Pourquoi l'âge glaciaire n'est pas envisageable

Si le Gulf Stream et sa prolongation, le courant nord atlantique, transportent effectivement des eaux chaudes vers nos hautes latitudes, de récents travaux scientifiques relativisent le rôle du Gulf Stream dans le transport de chaleur du sud vers le nord. En effet, dans la bande de latitudes comprises entre 40° et 60°N, ce sont les vents qui assurent 80 % de ce transfert de chaleur, les courants marins (Gulf Stream et ses dérivés) seulement 20 %.

Le ralentissement du Gulf Stream n'aurait donc pas les conséquences catastrophiques prédites par certains.

Le développement de la recherche en Océanographie et Climatologie a aidé à quantifier l'action du Gulf Stream sur le climat. Grâce à des simulations informatiques s'appuyant sur des mesures effectuées dans l'océan depuis 50 ans et sur les informations satellites, des équipes européennes et américaines ont mis en évidence les trois phénomènes responsables de la douceur hivernale de la côte Atlantique de l'Europe du Nord Ouest.

- Le courant chaud Nord Atlantique (prolongation du Gulf Stream) : dans son parcours vers les hautes latitudes, il transfère de l'énergie thermique à l'atmosphère.
- La circulation générale des vents au-dessus de l'Atlantique. En hiver, les vents d'ouest dominants provenant des États-Unis traversent l'Atlantique et apportent sur notre continent de l'air océanique beaucoup plus doux que l'air continental.
- Le déstockage ou libération, en hiver, de la chaleur accumulée par l'océan pendant l'été.

Quel climat pour le XXIe siècle ?

La tendance générale est au réchauffement dans toute l'Europe de l'Ouest. Même si le Gulf Stream devait ralentir - et donc véhiculer moins de chaleur -, cela ne compenserait pas le réchauffement global dû aux courants atmosphériques, responsables de 80 % du transfert de chaleur. L'effet serait au mieux temporisateur. Martin Visbeck, chercheur à l'IFM-GEOMAR à Kiel (Allemagne) : « ...Nous serions malgré tout confrontés à un climat plus chaud. Les modèles actuels suggèrent que les effets pourraient au mieux s'annuler, il n'y aura donc jamais de refroidissement dramatique en Europe ». Les modèles envisagent un réchauffement de seulement quelques degrés, bien inférieur à celui attendu dans d'autres régions de la planète.

Il faut cependant faire une distinction pour l'Europe du Nord, notamment l'Arctique et la Norvège. Au-delà de 60°N, « si le Gulf Stream ralentit beaucoup, on pourrait retrouver une légère avancée de la glace, mais nous n'en sommes pas sûrs à 100 % » confie Martin Visbeck. La véritable influence du ralentissement du Gulf Stream sur l'Europe de l'Ouest s'opérerait sur l'océan : « une réduction du Gulf Stream aurait une influence sur le niveau de la mer... On peut s'attendre à une montée des eaux d'environ 50 cm, ce qui aurait pour nous des conséquences notables ».

Modèles, prévisions et incertitudes

L'océan montre des variations naturelles. Le challenge pour les scientifiques est d'être capable d'établir la différence entre ce qui est dû aux oscillations naturelles du système et les changements beaucoup plus sensibles prévus pour les 50 ou 100 prochaines années.

Afin de décrypter l'évolution et les interactions entre l'océan et l'atmosphère, les scientifiques bénéficient aujourd'hui d'une panoplie importante et variée d'outils performants : satellites, navires de commerce, bateaux de recherche, engins sous-marins robotisés ou non, mouillages et observatoires à points fixes. Il est aujourd'hui crucial de renforcer les efforts de surveillance sur l'océan et ses changements pendant de longues périodes temporelles. « Pour comprendre les changements, nous devons régler nos systèmes d'observation sur des échelles de temps adaptées... regarder les choses avec la bonne fréquence », déclare Richard Lampitt, chercheur au National Oceanographic Center de Southampton (GB).

Ces observations vont permettre de mettre en évidence des variations importantes dans les tendances, mais sont surtout la base pour les modèles numériques visant à faire des prévisions climatiques.



Les certitudes aujourd'hui : les changements au sein des écosystèmes

Si les prévisions concernant le futur comportent toujours un certain degré d'incertitude, il est intéressant de voir comment aujourd'hui, grâce à des travaux de longue haleine, on perçoit déjà des modifications dans l'écosystème de la mer du Nord.

Le plancton, baromètre de la santé des océans

Depuis 1931, on traque le plancton marin à travers tout l'Atlantique grâce à un système remorqué à l'arrière de divers navires : le « Continuous Plankton Recorder », mis au point en 1929 par Sir Alistair Hardy. Les données collectées et analysées à Plymouth depuis plus de 70 ans ont récemment permis d'identifier une réorganisation majeure dans la diversité du zooplancton ces dix dernières années. Certaines espèces caractéristiques des eaux chaudes progressent vers le nord, tandis que d'autres, propres aux eaux froides, diminuent. On en mesure d'ores et déjà les conséquences, notamment sur la morue.

Grégory Beaugrand, chercheur au laboratoire Ecosystèmes Littoraux et Côtiers (ELICO, CNRS Wimereux) : « les changements dans la composition en plancton ont fortement influencé la morue du nord. On a des proies de plus petite taille ; le plancton arrive au moment où l'espèce n'en a plus besoin… Ces bouleversements sont défavorables à la survie des larves de morue. Si l'on combine cela aux effets de la surexploitation, on assiste à une réduction des effectifs de morue en mer du Nord. » D'après Grégory Beaugrand, « l'écosystème devra nécessairement s'adapter à un régime thermique plus chaud ».

Privilégier une approche globale des changements climatiques

Pas d'iceberg au large de l'Espagne, pas de cocotiers en Bretagne… Loin des scénarios dramatiques annoncés ici ou là, la première conséquence, souvent ignorée, d'un éventuel ralentissement du Gulf Stream et de ses courants, est liée à une diminution de la capacité de l'océan à stocker de grandes quantités de CO_2, rejeté de façon croissante dans l'atmosphère.

« Je pense qu'il faut garder une vision globale sur ce qui est en train de se passer sur la Planète ; comment le climat se manifestera-t-il, non seulement à une échelle régionale, mais au niveau de tout le globe… C'est quelque chose qui nous préoccupe et que nous cherchons à mieux appréhender. Le défi est de comprendre et identifier les changements dans un monde soumis au réchauffement, et de ne pas avoir une vision focalisée sur l'Europe. Après tout, nous sommes concernés par les changements globaux, à une échelle mondiale.

Nous sommes très intéressés par les sécheresses en Chine, l'activité des ouragans dans les tropiques ou les maladies en Inde. Tous ces effets seront ressentis en Europe même s'ils n'ont pas lieu en Europe », conclut le Pr. Martin Visbeck (chercheur à l'IFM-GEOMAR, Kiel, Allemagne).

Pour en savoir plus…

Du Gulf Stream à la Dérive Nord Atlantique

Grand courant océanique chaud Nord Atlantique, le Gulf Stream se forme dans la mer des Caraïbes, dans le golfe du Mexique, par la fusion de trois autres courants : Floride, Cuba et Nord Équatorial. Au large de la Floride, il mesure 80 à 150 km de large et 800 à 1200 m de profondeur. Les eaux de surface atteignent 30 à 35 °C et sa vitesse 1,2 à 2,7 m/s. On estime son débit à 85 millions de m^3/s. Il longe la côte vers le nord, puis au sud de Terre-Neuve est rejoint par le courant froid du Labrador qui le ralentit (8 km/jour) et le refroidit (25 °C).

Sous cette influence, il change de direction vers le nord-est à travers l'Atlantique. On parle alors de « Dérive Nord Atlantique ». Aux abords de l'Europe le courant se ramifie au nord vers l'Islande, au sud vers les Açores en direction des Canaries. La dérive Nord Atlantique fait partie de la grande boucle de circulation des courants océaniques, (« conveyor belt ») souvent comparée à un « tapis roulant ». Les eaux de surface, réchauffées dans les tropiques, se dirigent vers l'Atlantique Nord, tandis que les eaux refroidies « plongent » et circulent en profondeur en direction de l'Équateur.



- **Moteur de la circulation océanique : les plongées d'eaux profondes, mécanisme menacé**

Durant le trajet vers les régions polaires, les eaux de surface du courant nord atlantique transfèrent leur chaleur à l'atmosphère par évaporation et se refroidissent. Lorsque l'océan gèle dans les hautes latitudes, la formation de glace de mer libère un excès de sel. Les eaux froides sous-jacentes deviennent alors plus salées, plus denses et donc plus lourdes, puis coulent à plus de 3 km de profondeur le long de « cheminées de convection ».

- **Un phénomène crucial a lieu simultanément :**

En plongeant dans les profondeurs, ces eaux emportent avec elles 50 % du dioxyde de carbone absorbé par l'océan et grâce à ce processus, il peut demeurer piégé au fond de l'océan pour plusieurs centaines d'années...

Dans un contexte de réchauffement global, la fonte des glaces, par l'apport excessif d'eau douce qu'elle implique, pourrait diminuer la salinité et donc la densité des eaux, ce qui aurait comme conséquence de rendre plus difficile leur plongée. Cela pourrait diminuer le débit des courants de surface qui « alimentent » la circulation en Atlantique Nord et se répercuter sur toute la circulation océanique. En outre, le stockage de CO_2 en profondeur se verrait diminuer. Davantage de CO_2 resterait dans l'atmosphère, ce qui augmenterait le taux d'acidification des océans.



Les grands écosystèmes mondiaux d'upwelling

Quatre grands écosystèmes d'upwelling bordent les façades Ouest des grands continents. En Atlantique, il s'agit des écosystèmes du Courant du Benguela dans l'hémisphère Sud (sud de l'Angola, Namibie, Afrique du Sud) et du courant des Canaries dans l'hémisphère Nord (Maroc, Mauritanie, Sénégal et Gambie). Dans le Pacifique, il s'agit du courant de Humboldt dans l'hémisphère Sud (Pérou et Chili) et du courant de Californie dans l'hémisphère Nord (USA et nord du Mexique). Ce dernier n'est pour l'instant étudié que marginalement par l'IRD et ne sera pas présenté ici. Les écosystèmes d'upwelling fournissent plus de 40 % des captures des pêcheries mondiales alors qu'ils représentent moins de 3 % de la surface de l'océan. Les upwellings sont provoqués par des vents qui induisent des remontées d'eaux profondes, froides et chargées en sels minéraux. Ils sont à l'origine d'une production biologique forte mais soumise à d'importantes fluctuations interannuelles et inter-décennales. Actuellement, ces écosystèmes supportent les effets du changement climatique et ceux de la réorganisation des pêcheries mondiales, qui peuvent aboutir à d'importantes modifications dans leur organisation. Leur gestion doit également se concevoir dans le cadre plus large de l'aménagement des zones côtières qui les bordent.

L'IRD et ses partenaires conduisent une recherche à la fois intégrée et comparative. Intégrée car elle prend en compte le climat et l'environnement physique, les écosystèmes et les pêcheries. Comparative car afin de mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes par la mise en évidence de leurs similarités et de leurs différences, elle utilise les mêmes outils de recherche : télédétection, analyses statistiques, modélisation, systèmes d'information géographiques... dans les trois zones d'upwelling des courants du Benguela (Côte Ouest de l'Afrique australe), Canaries (Côtes de l'Afrique de l'Ouest) et Humboldt (Pacifique Sud, côtes du Chili et du Pérou).



Trois écosystèmes comparables

Sous l'action des vents issus des centres de haute pression (anticyclones) localisés aux latitudes moyennes sur les océans, une résurgence de surface (ou upwelling) d'eau froide profonde et riche en sels nutritifs se développe sur les plateaux continentaux. Son intensité est modulée par la force et la direction du vent, par la topographie de la côte et du plateau continental et par les caractéristiques océaniques environnantes.

En effet, l'arrivée de sels nutritifs dans la couche de surface éclairée par le soleil (zone photique) permet le développement de nombreux organismes phytoplanctoniques qui sont à la base de ce qui est communément dénommé la chaîne alimentaire. Cette chaîne, supposée aller du phytoplancton aux prédateurs supérieurs en passant par le zooplancton, d'autres invertébrés, des mollusques et les poissons, est en fait un réseau trophique maillé et complexe.

Dans chacune de ces régions, le vent joue un rôle majeur dans la dynamique des processus physiques, bio-géochimiques et écologiques. Les chaînes trophiques partagent également des propriétés communes.

Aux échelons intermédiaires, on rencontre un nombre limité d'espèces pélagiques côtières (sardine, sardinelle, anchois...) très abondantes et intensément exploitées. Elles jouent un rôle central dans le fonctionnement de l'écosystème.

Les zones d'upwelling sont spatialement très hétérogènes avec une mosaïque de structures comme les fronts séparant les eaux froides côtières des eaux chaudes situées plus au large, les plumes, les filaments et les tourbillons. Ces structures sont le support principal des échanges entre zone côtière et large ; elles jouent un rôle majeur dans le couplage entre processus physiques et biologiques. D'autres variables telles que profondeur et largeur des plateaux continentaux semblent également déterminer la présence de zones favorables à la rétention des éléments abiotiques et biotiques.

Dans les systèmes d'upwelling, des grandes variations de recrutement de poissons dans les pêcheries apparaissent. Elles sont dues aux fluctuations de mortalité au cours des premiers

Crédits photos : © IRD / Pierre Fréon

Remontée du cul du chalut à l'aide d'un cable, suite à une très grosse prise de sardinelle (*Sardinella maderensis*), excédant 150 tonnes.

stades de vie des poissons et par là doivent être essentiellement associées à la variabilité climatique. La survie de ces stades est pour l'essentiel reliée à des structures hydrodynamiques qui, dans certaines strates spatio-temporelles, favorisent la rétention, l'enrichissement et la concentration du plancton et de l'ichtyoplancton. Comprendre la dynamique de ces structures est essentiel pour mettre en place les modèles couplant les processus physiques et biologiques afin de simuler des processus écologiques comme la dynamique de la reproduction et le succès du recrutement.

Les fluctuations d'abondance des stocks de poissons pélagiques traduisent des changements importants de structure et de fonctionnement dans les écosystèmes d'upwelling. Des mortalités importantes ont été observées à des niveaux trophiques supérieurs (oiseaux, mammifères marins, grands poissons prédateurs) en réponse à la diminution d'abondance de leurs proies. Les effets à des niveaux trophiques inférieurs peuvent aussi être mis en évidence du fait de la diminution de la prédation par les poissons pélagiques sur les espèces planctoniques, entraînant à leur tour des modifications de l'ensemble du réseau trophique. À titre d'exemple, au récent phénomène El Niño est associé un changement d'abondance relative à deux espèces d'anchois. Des alternances à plus long terme, d'espèces dominantes, sont observées dans la plupart des écosystèmes d'upwelling, telle que l'alternance entre sardine et anchois dans les courants de Humbolt, du Benguela et du Kuroshio au large du Japon.

Trois écosystèmes différents

Le courant du Benguela

Le long de la côte Ouest de l'Afrique australe, l'upwelling du Benguela se singularise des autres systèmes d'upwelling par ses deux frontières responsables d'intrusion d'eau chaude : au nord, par le front Angola-Benguela et au Sud, par le courant des Aiguilles qui constitue la terminaison du courant de Bord-Ouest de l'Océan Indien. Pour pondre, les sardines (*Sardinops sagax*) et anchois (*Engraulis encrasicolus*, ex *E. capensis*) migrent vers le Banc des Aiguilles, où des eaux chaudes transportées par le courant des Aiguilles créent un environnement fortement stratifié. Les œufs et larves sont ensuite rapidement transportés vers le Nord par un courant côtier. En quelques jours, ils atteignent la région d'upwelling de la côte Est et un nombre d'entre eux est transporté vers le large par les courants liés au vent, ce qui constitue une source de mortalité. Un mécanisme de rétention permet aux autres individus de s'agréger dans les eaux côtières.

Les autres sources de mortalité des premiers stades de vie ne doivent pas être négligées. Il s'agit en particulier de celles liées au jeûne des larves et à la prédation sur les œufs et larves. Une semaine après l'éclosion, les larves doivent s'alimenter. Leurs capacités natatoires étant alors réduites, elles ont besoin non seulement d'une densité de proies élevée et de tailles convenables (micro-zooplancton pour l'essentiel), mais aussi de conditions de turbulence optimales. Une turbulence trop forte désagrège les essaims de plancton et entrave la capture de proies.

La modélisation fine des courants et de la production primaire doit apporter un éclairage nouveau sur ces problématiques. Bien que la productivité primaire de l'écosystème du Benguela semble globalement excédentaire, elle peut être déficitaire dans certaines strates spatio-temporelles telles que celle du Banc des Aiguilles ou de la partie hauturière de la nourricerie, lors de la saison de reproduction.



Dans ces conditions, des oasis de nourriture peuvent être trouvées dans les grands tourbillons du large, à la rencontre de différents courants et masses d'eau. La faible productivité du Banc des Aiguilles engendre une compétition sévère pour la nourriture de millions de tonnes de reproducteurs qui s'y trouvent concentrés lors de la saison de ponte. Ceci favorise le cannibalisme parental et la prédation des œufs et larves par les autres espèces.

Ce phénomène reste difficile à modéliser en l'absence de données mensuelles spatialisées de distribution des poissons mais devra faire l'objet d'un effort de quantification.

L'écosystème du Benguela peut se subdiviser en deux sous-écosystèmes du nord (sud de l'Angola et Namibie) et du sud (ouest et sud de l'Afrique du Sud) séparés par la cellule permanente d'upwelling de Lüderitz, la plus puissante au monde. En Afrique du Sud, les données de pêche historiques suggèrent un effondrement du stock de sardine à la fin des années 1960 suivi d'une récupération lente, alors qu'un premier niveau d'effondrement était observé en Namibie à la même période, aggravé à la fin des années 1970. La biomasse du stock namibien est depuis cette date restée à un niveau très bas. S'agit-il d'un processus environnemental ou bien d'une surexploitation qui est au cœur de ces effondrements ? La structure et dynamique de l'écosystème du sud Benguela semblent varier de façon progressive depuis plus de trois décennies alors que le nord Benguela a connu une réorganisation profonde de son fonctionnement sous ce qu'il est courant d'appeler un « changement de régime ». Aujourd'hui, le nord Benguela est dominé par les méduses et les poissons se nourrissant de détritus (Gobbies). Les poissons pélagiques sont devenus peu abondants et les pêcheries de la plupart des espèces commerciales (merlus et chinchards) menacées.

Les raisons de ce changement de régime aux conséquences désastreuses pour le développement et le maintien des activités de pêche restent aujourd'hui hypothétiques, bien que l'on suspecte fortement une interaction entre environnement et exploitation.



Débarquement de sardinelles dans le port de Dakar.

Le courant des Canaries

On distingue trois grandes régions dans l'écosystème du courant des Canaries :

- La côte nord marocaine avec un upwelling saisonnier en été.
- La côte sud marocaine et Nord Mauritanienne (désert du Sahara) avec un upwelling permanent.
- La côte sud mauritanienne et du Sénégal avec un upwelling en hiver.

La partie sud du système est caractérisée par une variabilité saisonnière extrême, avec une alternance entre un écosystème sous influence tropicale en été et un écosystème sous l'influence d'un upwelling côtier en hiver. Cette alternance s'accompagne en été d'une migration jusqu'à 20°N d'espèces à affinité tropicale (thonidés) et en hiver d'une extension vers le sud de l'habitat des espèces tempérées comme la sardine *S. pilchardus*.

Le système des Canaries présente une proportion unique de plateaux larges au Sud alors que les régions de bord Est, à cause de leur jeunesse géologique, sont généralement caractérisées par des plateaux étroits. Une correspondance a été observée entre la localisation des principales zones de ponte et les régions où le plateau s'élargit. Cette association serait le résultat de processus physiques se développant sur les plateaux larges et peu profonds qui limiteraient les échanges entre la bordure côtière et le domaine hauturier.

Les pêcheries de l'Afrique de l'Ouest sont étudiées depuis plusieurs décennies par l'IRD et ses partenaires. Les écosystèmes du courant des Canaries étaient dominés par les poissons démersaux de grande taille qui ont été rapidement surexploités. Dans la partie sud de la région, l'adaptabilité de la pêche artisanale lui a permis de tirer profit de la migration saisonnière de



nombreuses espèces (balancement entre saison d'upwelling et période chaude dominée par des influences tropicales). Sur une plus longue période, l'histoire des pêcheries ouest-africaines semble avoir été épargnée par des effondrements brutaux comme ceux rencontrés dans les autres systèmes. Un taux d'exploitation moindre jusqu'aux années 1980 et l'importance de la variabilité saisonnière pourraient avoir contribué à cette résilience relative. Trois pays ont vu une croissance rapide et imprévue des stocks de poulpes dans les années 1970. Cette pêcherie de poulpe est devenue, en valeur, une des composantes essentielles des pêcheries ouest-africaines. Ce changement d'espèces a été interprété comme résultant de l'absence de contrôle du haut vers le bas de la chaîne trophique, suite à la surexploitation des espèces démersales et qui a favorisé le développement de leurs espèces proies à vie courte, tel le poulpe ou bien encore les crevettes et les poissons pélagiques. Plus au nord, les éléments ayant conduit à un déplacement vers le sud l'activité de la flotte de senneurs exploitant la sardine restent encore largement inconnus : déplacement du stock ou meilleure rentabilité économique au sud ? Devant le désert du Sahara, le déclin brutal de l'exploitation dans cette région dans les années 1990 suite au départ des flottilles de chalutiers des pays du bloc soviétique constitue un exemple unique de réduction de l'effort de pêche. La région du Sahara sera donc, en sus de celle de l'upwelling du Sénégal, une zone de recherche privilégiée pour l'étude des interactions physique-biologie.

Le courant de Humboldt

Le système du courant de Humboldt avec ses cellules d'upwelling permanent au Pérou, ou saisonnier, le long des côtes chiliennes, est de loin le plus productif en poisson. Avec moins de 1 % de la surface de l'océan mondial il fournit 15 à 20 % des captures maritimes mondiales (jusqu'à près de 20 millions de tonnes par an pour le Pérou et le Chili réunis). Une seconde particularité réside dans la présence d'une zone très faible en oxygène, très étendue, très intense et superficielle. Une dernière particularité de ce système est d'être placé sous l'influence directe du mécanisme ENSO (El Niño Southern Oscillation).

Des scientifiques ont proposé l'hypothèse selon laquelle, au lien d'affecter négativement les populations de poissons, les événements ENSO pourraient être le secret de l'extrême productivité en poisson de cet écosystème. Contrairement à ce qui a été longtemps admis, les phénomènes El Niño n'ont pas systématiquement un effet négatif sur l'anchois et positif sur la sardine. L'impact de ces phénomènes ne peut être interprété qu'en prenant en compte l'ensemble du système, à des échelles de temps et d'espace très diverses.

Diverses hypothèses ont été proposées pour expliquer les alternances entre anchois et sardine. Ces hypothèses sont reliées à des mécanismes intervenant à différentes échelles spatio-temporelles et intègrent entre autres des variations du climat, des conditions océanographiques, des communautés planctoniques (en abondance et structure de taille), du comportement des poissons et de la surface des habitats disponibles. Les grandes fluctuations de biomasse semblent devoir être reliées à la fois à des taux d'exploitation élevés ciblés sur quelques espèces de l'écosystème et à des changements environnementaux. Les variations d'abondance dépassent largement les seuls anchois et sardine et c'est l'ensemble de l'écosystème (calmar géant, Munidae, Myctophidae, etc.) qui présente des variations à différentes échelles.

Le rôle des fluctuations climatiques présentant une période d'environ 50 ans a été le sujet de nombreuses études dans les systèmes de courants de Californie et du Humboldt. Cela implique de se focaliser sur les variations à échelle décennale du type ENSO.

Modélisation, SIG, observations acoustiques… une panoplie d'outils et de méthodes

Les recherches océanographiques, dans le domaine du vivant en particulier, ont longtemps ignoré ou sous-estimé la composante géographique ou spatiale. Ceci pour plusieurs raisons : le domaine d'étude est immense, opaque pour l'œil humain et pendant longtemps seules les observations à l'aide d'un moyen de déplacement lent et coûteux (le bateau de recherche) étaient disponibles. De plus, les moyens de représentation et d'analyse spatiale étaient peu développés. Cette situation



a changé de façon spectaculaire au cours des deux dernières décennies avec les avancées suivantes :

- Les satellites nous permettent maintenant d'observer la surface de la mer sur de très grandes étendues et de façon quasi instantanée. On peut en déduire non seulement la température de surface, mais aussi des indications sur la richesse en phytoplancton (couleur de l'eau), la circulation (hauteur de l'eau ou altimétrie) et l'intensité des vents de surface (scattérométrie).
- La mise à contribution des navires marchands pour la prise de mesures en mer (profils de température et de densité pour le moins) s'est accentuée au point que les bases de données couvrent pratiquement toute la planète, même si les grandes routes de navigation restent les mieux échantillonnées.
- Des mouillages fixes et engins dérivants (certains faisant le « yoyo » pour échantillonner dans le plan vertical) transmettent en permanence leurs données à des satellites, lesquels les renvoient vers les centres de recherche.
- La technologie satellitale permet également d'équiper les bateaux de pêche commerciale du système VMS ou Vessel Monitoring System. Ainsi, on pourra reconstituer la trajectoire du bateau et en déduire ses zones de pêche.
- Certains animaux bénéficient aussi de cette technique lorsqu'ils sont équipés de capteurs-enregistreurs permettant de connaître leur position géographique, laquelle est transmise par satellite. Ceci peut avoir lieu à n'importe quel moment pour les oiseaux marins. Pour les mammifères marins, c'est uniquement lorsqu'ils font surface pour respirer ou lorsqu'ils se trouvent à terre dans les colonies (phoques, otaries). À partir des données ainsi récoltées et retransmises par satellite, les chercheurs peuvent suivre les déplacements des animaux, connaître leurs zones d'alimentation, la profondeur de leurs plongées et quantifier les interactions avec les pêcheries. Lorsque la position des bateaux est également suivie par satellite (VMS) on peut alors suivre en parallèle les déplacements des animaux et des bateaux.



Pêcheurs à la senne du Pérou

Crédits photos : © IRD / Arnaud Bertrand

- Les bateaux de recherche moderne sont dotés d'instruments acoustiques permettant d'échantillonner de grand volume d'eau, non seulement au-dessous du bateau (sondeur vertical) mais aussi autour de lui (sonar latéral ou omni-directionnel). Certains de ces instruments permettent de connaître la topographie du fond, d'autres la distribution des poissons et dernièrement celle du zooplancton. Des bouées fixes ou dérivantes sont maintenant équipées de tels appareils.
- Les progrès informatiques permettent de nos jours de modéliser la circulation et la productivité des océans en trois dimensions. Certains de ces modèles sont même capables d'assimiler une partie des données présentées ci-dessus pour améliorer leur capacité de prédiction en temps quasi réel (océanographie opérationnelle). Ces modèles sont à la fois des outils de simulation et d'expérimentation qui permettent d'établir les équilibres hydrodynamiques, de tester des hypothèses scientifiques, d'explorer le champ des possibles et enfin d'étudier des scénarios climatiques.
- D'autres types de modèles simulent le déplacement passif ou actif des organismes, en couplant (ou non) les modèles physiques décrits ci-dessus à des modèles biologiques.
- L'informatique permet également la représentation graphique et dynamique des données d'origines diverses ainsi que leurs analyses spatialisées à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG). Ainsi on pourra représenter et étudier de façon spatialisée les liens entre les différentes composantes de l'écosystème : facteurs physiques, plancton, poissons, oiseaux, mammifères et pêcheurs.

Contact auteur : Pierre Fréon
[pierre.freon@ifremer.fr



Les écosystèmes tropicaux de haute mer

Au cours des 30 dernières années, le domaine marin du large est devenu l'un des objets d'étude majeurs de la communauté océanographique mondiale. Un considérable effort d'intégration des connaissances physiques, géochimiques et biologiques a été accompli récemment par le développement de systèmes d'observation déportés (satellites) ou *in situ* et le développement parallèle de modèles couplant le climat, la physique de l'océan, la géochimie et la biologie.

Les enjeux de ces recherches océaniques sur le devenir des sociétés humaines sont réels. D'une part, l'océan joue un rôle de régulateur dans le climat de la planète : il intervient au premier plan dans les scénarios de changement climatique, dont les conséquences peuvent être catastrophiques pour certaines populations riveraines ou insulaires. D'autre part, les ressources vivantes qu'il recèle ont été exploitées de manière croissante depuis le milieu du XXe siècle. Avant la seconde guerre mondiale, les seules espèces pélagiques du large réellement exploitées se limitaient aux grands cétacés et les stocks de thons se trouvaient alors à l'état vierge. Depuis, des flottilles industrielles de palangriers et de senneurs se sont déployées dans tous les océans et les captures de thonidés dépassent maintenant 5 millions de tonnes. Ce développement s'explique par le fait que les thons constituent une ressource à haute valeur marchande, soutenue par des marchés mondiaux en croissance. Bien que la taille des stocks ait fortement diminué, les rendements ont pu être stabilisés grâce à des adaptations technologiques toujours plus efficaces. Face à un constat largement reconnu de surexploitation des prédateurs, que risque-t-il de se produire à moyen terme au niveau des pêcheries et des écosystèmes ? Évaluer l'impact de la pêche sur le devenir de ces ressources et plus largement, sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes de haute mer, est donc un objectif pertinent.

Les recherches de l'IRD et de ses partenaires s'intéressent aux écosystèmes de haute mer et aux pêcheries thonières tropicales. Bien que les écosystèmes soient considérés dans leur intégralité, l'accent est plus particulièrement porté sur les prédateurs supérieurs. Les thons en constituent le groupe cible, mais d'autres espèces seront aussi étudiées, des petits pélagiques aux requins, en passant par les oiseaux marins, les dorades et les espadons.

Les thons : des espèces présentes dans tous les océans

Les thons sont des prédateurs actifs et représentent une forte biomasse (plus de 10 Mt) occupant presque exclusivement les écosystèmes pélagiques du large. L'intérêt aussi d'étudier les thons est que ces espèces sont présentes dans tous les océans (excepté les zones polaires) et que l'on dispose de longues séries de données sur leurs populations depuis le milieu du XXe siècle. De bonnes connaissances sur leur écophysiologie sont d'ores et déjà acquises. C'est enfin un matériel vivant sur lequel on peut facilement placer des capteurs.

La recherche thonière fait l'objet d'une coopération scientifique internationale très active, au travers d'organisations régionales de pêche responsables de la coordination des recherches, de la gestion et de la conservation de ces ressources.

S'y ajoutent des enjeux commerciaux et de développement :

- Une forte capitalisation économique pour leur exploitation est exercée par les grands pays pêcheurs - en majorité du Nord - et une importante filière de transformation est à l'origine de milliers d'emplois induits, tant dans les pays du Nord que du Sud.
- Outre les bénéfices substantiels, liés à la rente thonière, qui sont utilisés par les pays riverains comme soutien à leurs politiques de développement, des flottilles nationales semi-industrielles exploitant les thonidés ont vu le jour au cours des 10 dernières années.



Institut de recherche
pour le développement



Crédits photos : © IRD / Arnaud Bertrand

Campagne océanologique à bord du N/O Olaya de l'IMARPE, Pérou.

Un chantier majeur, l'Océan Indien

La pêche industrielle a entraîné un développement considérable des prises de thons dans l'Océan Indien, la production passant de 150 000 t en 1980 à 1 million de tonnes en 2004, avec un accroissement moyen de l'ordre de 40 000 t par an. Cette évolution a concerné le bassin ouest de l'océan, résultat du déploiement de la flottille de senneurs européens (France et Espagne) opérant initialement en Atlantique. Mais l'Océan Indien est aussi celui où la part des pêches artisanales de thon est la plus élevée (35 %) en raison du grand nombre de pays riverains où la pêche thonière contribue de manière importante à l'alimentation des populations ou à l'exportation.

Les pays riverains de l'Océan Indien occidental retirent d'importants subsides des activités de pêche industrielle pratiquées par les flottilles étrangères, par le biais d'accords de pêche. Dans certains d'entre eux, s'est développée une économie de transformation, par la construction de conserveries à l'origine de nombreux emplois (Seychelles, Maurice, Madagascar, Thaïlande).

Les écosystèmes du large sont des entités peu aisées à délimiter dans l'espace. Il est néanmoins possible de procéder à une classification par la nature des réseaux trophiques et les modes d'exploitation par les pêcheries, car la ressource se structure différemment selon l'habitat et le stade de vie des espèces (zones de reproduction vs zones de transit ou d'alimentation). Utiliser des écosystèmes « régionaux » présente l'intérêt de stratifier l'échantillonnage et de permettre ultérieurement des études comparatives avec d'autres zones étudiées dans d'autres programmes. Les études comparatives participent à une meilleure connaissance des processus fondamentaux qui structurent les écosystèmes.

Les objectifs des recherches conduites dans les milieux hauturiers sont de :

- Préciser le comportement des prédateurs supérieurs et en particulier les mécanismes qui conduisent les thons à s'agréger autour des dispositifs concentrateurs de poissons (DCP).
- Comprendre comment les thons occupent leur habitat et comment leurs mouvements peuvent être contraints par des forçages environnementaux.
- Analyser la dynamique de l'usage des ressources thonières et les effets de la pêche sur les communautés pélagiques.
- Modéliser la réponse des écosystèmes de haute mer face à la pêche et simuler leur fonctionnement.

Les dispositifs de concentration de poissons

Le comportement grégaire a un rôle prépondérant chez beaucoup d'espèces de poissons car il est impliqué, à différents degrés selon l'espèce considérée, dans les différentes phases de leur cycle biologique (reproduction, recrutement larvaire et au stade adulte). Par ailleurs, la présence de dispositifs concentrateurs de poissons (DCP) dans le milieu, qu'ils soient naturels ou artificiels, entraîne des réponses attractives et agrégatives de la part des communautés pélagiques. Les DCP attirent différentes espèces, des petits aux grands pélagiques. L'IRD étudie ces mécanismes structurants sur des poissons de milieux, de tailles et d'espèces distincts.

Les thons tropicaux ainsi que d'autres espèces de prédateurs pélagiques forment des bancs qui constituent l'unité de base sur laquelle repose l'activité de pêche à la senne. Le comportement grégaire des prédateurs pélagiques a jusqu'à



présent été peu étudié, alors que son impact dans la capturabilité par les engins de pêche est essentiel. Des expérimentations faites à la fois sur des petits et des grands pélagiques permettent d'aborder l'étude du grégarisme selon une approche générique.

Le grégarisme est amplifié en présence d'objets flottants ou immergés par un phénomène d'attraction qui conduit au rassemblement de communautés de poissons différentes. Les objets flottants dérivants sont responsables de plus de la moitié des captures mondiales de thons tropicaux et méritent, à ce titre, une attention particulière en matière de gestion. L'Océan Indien est précisément la région du monde où la proportion des prises sous DCP est la plus élevée (70 % des prises totales). Les différentes commissions thonières, dont la CTOI, ont clairement souligné qu'il était prioritaire de mieux quantifier les effets des DCP sur les populations de poissons pour une gestion durable de ces pêcheries. Un programme européen, FADIO, réunissant autour de l'IRD 8 partenaires scientifiques, a démarré en 2003 avec pour objectif de développer de nouveaux outils d'observation de la faune pélagique associée aux DCP. Ces futurs outils (marques électroniques et bouées instrumentées) devraient permettre, dans le futur, de créer des observatoires du milieu pélagique.

Différentes actions sont menées pour étudier le comportement des thons et des autres espèces (coryphènes, requins, thazards) autour de DCP : marquages ultrasoniques pour déterminer les distances et mécanismes d'attraction aux DCP ; marquages ultrasoniques pour mesurer des temps de résidence sous DCP ; observations acoustiques pour étudier le comportement collectif autour des DCP ; mesures de l'environnement biotique et abiotique pour étudier les effets des facteurs externes sur les agrégations.

Les conséquences biologiques de l'agrégation des thons aux DCP font l'objet d'interrogations qui sont résumées dans la formulation d'une hypothèse dite du piège écologique : dans la situation actuelle où des milliers de DCP (radeaux artificiels) sont mis à l'eau par les flottilles, les thons juvéniles agrégés aux DCP ne risquent-ils pas, en raison de leur grand nombre et d'une forte compétition, d'être limités sur le plan des ressources alimentaires et par ailleurs, de devenir la proie facile des grands prédateurs attirés par les DCP ? L'hypothèse porte donc sur deux effets négatifs, la réduction d'un bien-être métabolique (avec une diminution potentielle du taux de croissance) et une mortalité naturelle accrue par la prédation. L'analyse de contenus stomacaux en fonction des déplacements antérieurs des individus, la mesure de facteurs de condition corporelle (indicateur de « bien-être » métabolique) de poissons pêchés sous DCP, la pose de marques archives pour estimer les effets à méso- et macro-échelle des DCP sur les mouvements des thons, sont autant de méthodes mises en œuvre pour tester l'hypothèse initiale.

L'occupation de l'habitat par les grands pélagiques

La répartition spatiale des grands migrateurs de haute mer comme les thons est contrainte par l'habitat physique et biologique, à toutes les échelles et à chaque étape de leur cycle vital. Ainsi, comprendre leurs modes d'occupation de l'habitat est une étape nécessaire à l'étude de leur répartition spatiale et de leurs mouvements. Décrire et expliquer l'occupation de l'habitat des grands pélagiques nécessite une parfaite intégration entre le recueil d'informations sur le terrain, d'une part, et la modélisation des processus qui expliquent les déplacements observés, d'autre part.

Dans le milieu tropical du large, les gradients physico-chimiques (pression, température, oxygène, éclairement) et biologiques (couches de proies) sont permanents dans la dimension verticale alors qu'ils sont plus variables dans la dimension horizontale (passage de fronts, tourbillons). Le comportement vertical détermine la niche écologique des prédateurs.

En effet, la capacité de certaines espèces (patudo, espadon) à supporter, à l'âge adulte, de basses températures et à exploiter de jour la couche des proies mésopélagiques étend en profondeur leur habitat potentiel. D'autres espèces comme le listao, les voiliers ou les albacores n'ont pas cette capacité, et exploitent des proies superficielles. Les proies profondes ne se répartissent probablement pas de la même manière que les proies de surface, tant dans



Pêche au thon en Atlantique

Crédits photos : © IRD / Christophe Peignon

l'espace que dans le temps. En conséquence, les prédateurs ayant accès aux couches profondes et ceux qui sont distribués en surface devraient présenter des déplacements trophiques différents.

Sous cet angle, il devient donc possible de relier les mouvements horizontaux au comportement vertical de manière fonctionnelle, en expliquant les différences observées entre espèces (un patudo ne connaît pas les mêmes migrations qu'un albacore) et selon la taille (les adultes n'ont pas les mêmes déplacements que les juvéniles). L'incorporation des données de recaptures de poissons marqués (par le programme de marquage de thons de la CTOI) au sein d'un modèle de comportement vertical permettra de tester cette hypothèse.

Des méthodes microchimiques apportent un complément aux marquages dans l'étude des stratégies d'occupation de l'habitat. Le dosage de micro-éléments sur les pièces dures (otolithes) permet d'établir un lien avec les milieux traversés par les animaux à plusieurs stades de leur cycle de vie, à condition de disposer de traceurs environnementaux de ces milieux. La méthode est en cours de test en comparant les réponses microchimiques entre deux zones de l'océan Indien (Seychelles et région indonésienne) particulièrement contrastées sur le plan biogéochimique.

Les recherches conduites sur ce thème se décomposent donc en plusieurs étapes : discriminer les peuplements en relation avec les structures trophiques et physiques de l'environnement, caractériser la dimension verticale d'une province océanique par quelques descripteurs propres aux grands prédateurs (diversité spécifique, catégories de tailles, densité), identifier les variables structurantes de l'habitat pour les espèces dominantes des peuplements, analyser des scénarios de réponses des peuplements aux variations de l'environnement.

Les interactions entre la ressource et les pêcheurs

L'état de santé des stocks exploités passe par des indicateurs tirés des statistiques de prises et d'effort des flottilles. Les rendements (ou PUE, prises par unité d'effort) sont ainsi reliés à l'abondance réelle de la ressource par un rapport de proportionnalité (appelé « capturabilité »). Dans les pêcheries thonières, la capturabilité est un facteur variable dans le temps et dans l'espace : elle dépend d'une part, du comportement *sensu lato* de la ressource face à son environnement (ce qui est abordé dans le volet concernant l'habitat) et d'autre part, du comportement des pêcheurs (évolution des puissances de pêche, mise en place de tactiques et de stratégies de pêches appropriées).

Les différents aspects reliés au comportement des pêcheurs sont partie intégrante de l'effort effectif des pêcheries, paramètre clé utilisé pour calculer les PUE (rapport des prises sur l'effort). Le problème de la quantification de l'effort de pêche des senneurs, et tout particulièrement lors de pêches sous DCP, est un problème majeur et récurrent dans l'évaluation des stocks de thonidés. La recherche du déterminisme du mouvement des navires (stratégies de pêche) est incontournable pour appréhender la dynamique spatiale de l'effort de pêche à méso-echelle (100 km) et entre les grands secteurs de l'océan. Les outils d'analyse peuvent faire appel aux méthodes statistiques classiques et aux méthodes de simulation.



Cette approche est employée sur les deux engins majeurs exploitant les thons à l'échelle de l'océan : la senne et la palangre. La chute brutale des PUE palangrières en début d'exploitation est un phénomène bien connu dans tous les océans qui ne reflète pas une diminution concomitante de l'abondance de la ressource. De même, la stabilité dans le temps des PUE d'espèces cibles, comme le thon obèse ou le thon jaune, pour des pêcheries dynamiques et soumises à de fortes variations de l'environnement, pose de sérieux problèmes d'interprétation. Le calcul même de l'effort de pêche, qui ne prend en considération ni la distribution verticale des hameçons en regard de l'habitat potentiel, ni la densité d'hameçons dans le volume exploité, semble être en partie à l'origine de ce biais. Des simulations permettent d'explorer les causes de ce biais et pourront conduire à de nouvelles propositions de la mesure de l'effort de pêche pour les pêcheries palangrières.

Comprendre et anticiper la réaction des pêcheurs par rapport à une mesure de régulation est un enjeu majeur dans le cadre d'une gestion responsable. La méconnaissance des stratégies de pêche des flottilles ne permet pas de prévoir la redistribution de l'effort de pêche en cas de mesures de régulation. Il est donc difficile de connaître l'applicabilité d'une mesure de gestion sans prendre en considération l'adaptabilité des pêcheurs vis-à-vis de cette régulation. Il s'agit donc, tout en tenant compte de la variabilité de la ressource et de l'environnement, d'anticiper le comportement des pêcheurs face aux mesures de réglementation. L'approche préconisée repose sur des méthodes de simulation couplant dynamique de la ressource et comportement des flottilles. Ces résultats représenteront une contribution particulièrement importante à l'objectif de régionalisation de la gestion des ressources thonières.

Les effets conjoints de la pêche et du climat

Les zones de pêche et les débarquements n'ont pas cessé de croître durant les 50 dernières années, concentrant la pression de pêche uniquement sur les prédateurs supérieurs (thons essentiellement, requins et poissons porte-épée). Situés en bout de chaîne alimentaire, les prédateurs supérieurs exercent une pression sur les niveaux trophiques intermédiaires. Leur exploitation soutenue peut avoir des répercussions sur la communauté de leurs proies (« effet de cascade ») et réciproquement, l'impact des anomalies climatiques sur la distribution des proies est susceptible d'engendrer des réponses dans leur distribution ou leur survie (« effet bottom-up »). Dans le contexte d'une approche écosystémique de l'exploitation, cette recherche est entreprise pour caractériser et formaliser les interactions trophiques entre les prédateurs supérieurs et leurs proies. Un modèle biologique nouveau à l'IRD, les oiseaux marins, est utilisé pour aborder de manière indirecte les stratégies de recherche alimentaire des thons étant donné le recouvrement important des régimes alimentaires de ces prédateurs.



Pêche à la palangre en Polynésie Française

On tente aussi d'évaluer les interactions entre forçages climatiques et ressources thonières exploitées par différents engins (senne, palangre, canneurs) dans différents écosystèmes régionaux des océans Atlantique et Indien. L'influence des forçages climatiques est assez mal documentée lorsqu'il s'agit de comprendre ou prédire son action sur les différents niveaux trophiques. Dans les écosystèmes hauturiers, les prédateurs supérieurs



forment l'unique compartiment trophique pour lequel des séries longues sont disponibles (grâce à leur exploitation soutenue). Les prédateurs marins supérieurs seront donc considérés comme des intégrateurs des chaînes trophiques et leurs réponses au changement climatique devront nous renseigner sur celle des écosystèmes hauturiers dans leur ensemble. L'originalité de l'approche repose sur l'analyse de séries rétrospectives de l'ordre de 30 à 50 ans, portant sur l'exploitation de thonidés aux caractéristiques biologiques différentes et s'appuyant sur une méthodologie commune, innovante et adaptée aux propriétés statistiques de ces séries temporelles. C'est donc par une approche comparative que l'on étudie les effets de la variabilité climatique sur les écosystèmes. Le recours à des outils divers est nécessaire afin d'appréhender la complexité de ces écosystèmes et de pallier la difficulté logistique d'échantillonner ces milieux : étude des contenus stomacaux des prédateurs supérieurs, acoustique, marquage électronique, modélisation bioénergétique, analyses de séries temporelles.


Du thon bien frais

Crédits photos : © IRD / Patrice Cayré

L'intégration des connaissances au moyen de modèles écosystémiques

La modélisation est utilisée comme le moyen d'unifier, de synthétiser et de mettre en cohérence les différents aspects, échelles et données considérés isolément dans les différents compartiments évoqués précédemment. Prolongeant le travail de modélisation, la simulation permet d'explorer différentes questions écologiques et halieutiques, selon une approche comparative et dans le cadre théorique du modèle écosystémique développé.

Le modèle numérique APECOSM (Apex Predators ECOSystem Model) représente de manière déterministe les flux d'énergie dans l'écosystème, depuis le phytoplancton jusqu'aux prédateurs supérieurs et la pêche. La prédation est explicitée et structurée par la taille des individus. Le modèle intègre la dynamique démographique des différentes populations de thons exploitées, les contraintes bioénergétiques affectant les individus (croissance et reproduction), les migrations et mouvements ainsi que les traits d'histoire de vie essentiels et les comportements locaux (mouvements verticaux,etc.) non explicitement résolus à grande échelle mais ayant un impact sur les interactions trophiques et les mouvements à grande échelle. Les interactions avec l'environnement physique reposent sur un couplage avec des modèles physique et biogéochimique. Exclusivement fondé sur des processus adaptatifs, APECOSM doit pouvoir représenter l'évolution structurelle et la régionalisation de l'écosystème en réponse à la variabilité de l'environnement.

Une approche différente et complémentaire est également abordée au moyen de modèles qualitatifs, avec une collaboration avec l'Australie (CSIRO Hobart). Ce type de modèles vise à réduire la complexité des interactions trophiques en les réduisant à des liens qualitatifs de 3 types entre espèces : positif (le prédateur consomme), négatif (la proie est consommée) et un feed-back (densité dépendance par exemple). Une symbolique particulière fondée sur la théorie des graphes y est associée pour représenter de manière synthétique le fonctionnement du système.

Contact auteur : Francis Marsac
[francis.marsac@ifremer.fr



Écosystèmes marins : vers une pêche responsable et durable

Les ressources des océans diminuent dangereusement sous l'effet de la surpêche, de la pollution ou du réchauffement climatique. Cette baisse est particulièrement inquiétante dans les pays du Sud où le poisson, source de revenus pour des millions de personnes, revêt une importance majeure en terme de sécurité alimentaire.

Dans ce contexte, la recherche scientifique a un rôle essentiel à jouer. Pour les scientifiques, un des enjeux est de mieux quantifier les effets de la pêche sur les écosystèmes. De nombreuses lacunes persistent encore dans ce domaine, car ce n'est que récemment que l'effort de recherche porte sur le fonctionnement des écosystèmes dans leur ensemble.



Un milliard de personnes tributaires du poisson dans le monde

À l'échelle mondiale, environ un milliard de personnes sont tributaires du poisson comme principale source de protéines animales. Depuis les années soixante les disponibilités de poissons et de produits de la pêche par habitant ont pratiquement doublé (la consommation moyenne est de 16 kg par personne et par an à la fin des années quatre-vingt-dix), gagnant ainsi de vitesse la croissance démographique, qui a également pratiquement doublé au cours de la même période. Dans les pays à faible revenu et à déficit vivrier où la consommation actuelle de produits de la mer est proche de la moitié de celle des pays les plus riches, la contribution du poisson à l'apport total en protéines animales est considérable, voisine de 20 %. Dans certains pays -insulaires ou côtiers- à forte densité de population, les protéines de poisson contribuent de façon décisive au régime alimentaire, fournissant un pourcentage d'au moins 50 % du total protéique (Bangladesh, Corée du Nord, Ghana, Guinée, Indonésie, Japon, Sénégal, etc.).



Pêche au thon en Atlantique

Des années de « pêche miraculeuse » à l'effondrement des stocks

Alors qu'au siècle dernier les océans étaient considérés comme inépuisables, beaucoup de pêcheries présentent aujourd'hui des signes d'essoufflement. Un bref historique des pêches permet de mesurer l'ampleur du problème. Les années cinquante ont marqué le début d'une croissance très rapide de l'activité de pêche. Durant les années cinquante et soixante, l'énorme accroissement global de l'effort et de la puissance de pêche s'est accompagné d'une augmentation des captures, si rapide que leur tendance excédait l'accroissement de la population humaine. En l'espace de deux décennies, la production mondiale des pêches de captures marines et continentales a été multipliée par trois, passant ainsi de 18 millions de tonnes en 1950 à 56 millions de tonnes en 1969. Durant ces années de « pêche miraculeuse », les ressources marines étaient perçues comme étant inépuisables. Par la suite, au cours des années soixante-dix et quatre-vingt, le taux moyen d'accroissement est tombé à 2 % par an et pratiquement à zéro pendant et depuis les années quatre-vingt-dix, alors que le nombre de bateaux et leur efficacité n'ont cessé d'augmenter. Que les pêcheries exercent leur activité dans l'hémisphère nord ou dans les eaux tropicales, qu'elles soient industrielles ou artisanales, le constat est le même localement et globalement : les pêcheries mondiales semblent avoir atteint le maximum de leur potentiel et comme trois quarts des populations de poissons sont maintenant pleinement exploités voire surexploités, on n'enregistrera probablement pas d'augmentations importantes de captures totales dans le futur.



Le retour à un état initial peu probable

Le problème n'est pas uniquement celui de la stagnation des captures de pêche. Celles-ci risquent probablement de s'effondrer dans le futur car la vitesse et l'intensité de l'exploitation à l'échelle mondiale laissent peu de chances à la viabilité des ressources exploitées. Une des grandes idées reçues a longtemps été celle du recouvrement des populations de poissons qui se sont effondrées. La théorie des pêches postule que la diminution ou l'arrêt de la pêche permettra aux stocks de poissons de se reconstituer plus ou moins rapidement, les espèces ayant des potentiels d'accroissements forts. Mais de nombreuses observations contredisent cette idée. Seulement 7 % des populations qui se sont effondrées ont vu une récupération de leur effectif après une génération. L'exemple de la morue de Terre-Neuve est devenu illustre. Malgré l'arrêt de cette pêche suite à l'effondrement du stock en 1992, le niveau de biomasse est aujourd'hui encore plus faible qu'il y a 20 ans et aucune récupération n'est constatée. De nombreux chercheurs s'accordent désormais pour reconnaître les faibles capacités de résilience des populations marines (retour à un état initial non ou peu perturbé). La surexploitation par la pêche apparaît comme étant la principale cause passée et présente des bouleversements observés dans les écosystèmes marins exploités. D'autres facteurs tels la pollution, la destruction des habitats, les introductions d'espèces, ou le changement climatique modifient eux aussi les écosystèmes marins et leurs impacts peuvent se superposer ou bien se combiner à ceux de l'exploitation. Un contexte nouveau apparaît où les activités humaines engendrent des bouleversements difficilement maîtrisés.

Les impacts de la pêche sur l'ensemble de l'écosystème marin

La pêche a donc un impact fort sur les espèces qu'elle cible. Mais il ne faut surtout pas occulter les effets directs et indirects sur les autres composantes de l'écosystème. Car c'est bien l'ensemble de l'écosystème marin qui est potentiellement touché par la pêche.

Certains modes de pêches ont des effets directs sur l'habitat des espèces marines, qu'elles soient exploitées ou non. Le chalutage contribue par exemple à la destruction de l'habitat benthique. Annuellement, les surfaces couvertes par le chalutage sont estimées à la moitié de la surface des plateaux continentaux. Cette surface représente 150 fois la surface de déforestation annuelle en milieu terrestre et illustre l'ampleur de l'impact potentiel sur les nombreuses espèces sédentaires.

Il existe également des effets directs de la pêche sur des espèces non ciblées. Les pêcheries ciblent généralement des espèces d'intérêt commercial, à l'aide d'engins sélectifs et/ou par l'exploitation de zones et de saisons adaptées. Cependant, la sélection est loin d'être parfaite. Les rejets en mer de captures d'espèces accessoires (car sans ou avec peu d'intérêt commercial) sont très élevés et représentent 27 millions de tonnes sur un total de captures mondiales de 85 millions de tonnes (soit environ 30 % des captures déclarées). La Commission Baleinière Internationale estime entre 65 000 et 80 000 le nombre de dauphins, phoques et autres mammifères marins qui périssent ainsi chaque année. Environ 40 000 tortues marines en danger ou menacées d'extinction sont prises dans les filets ou autres engins non-sélectifs. Un autre exemple marquant mais non isolé est celui des pêcheries de crevettes ou de crabes qui prélèvent environ trois à dix fois leur volume en espèces de poissons non désirables commercialement. Pour un kilogramme de crevettes pêchées, il faudra rejeter en moyenne cinq à dix kilogrammes de prises accessoires ! Ces pratiques d'exploitation des ressources marines sont de plus en plus condamnables dans un contexte de principe de précaution. Le monde de la pêche s'attache aujourd'hui à corriger des habitudes et des techniques de prélèvements des ressources qui n'apparaissent plus adaptées aux exigences de conservation.

Une diminution inquiétante de la taille des poissons

Une évolution qualitative essentielle des débarquements de pêche montre les effets indirects que peut engendrer la pêche sur l'ensemble de l'écosystème : les poissons de petite taille et situés en début de chaîne trophique constituent une part croissante des captures. On pêche de plus en plus de sardines, d'anchois, de harengs et d'autres



Institut de recherche pour le développement


Crédits photos : © IRD / Christophe Peignon

Pêche au thon en Atlantique

petits poissons pélagiques et de moins en moins de morues, flétans, colins, etc. Ce phénomène n'est pas lié à un changement de cible des pêcheurs, bien au contraire. En effet, les pêcheurs ciblent le plus souvent les poissons carnivores de grande taille, situés en haut de la chaîne trophique car ceux-ci ont une valeur commerciale élevée.

Au Canada, où la morue semble bel et bien avoir disparu, l'écosystème est aujourd'hui dominé par des poissons pélagiques et d'autres espèces situées plus bas dans la chaîne trophique, notamment les crevettes et les crabes. Il y a quelques décennies, on pouvait encore pêcher des flétans de trois mètres et des morues de deux mètres. Aujourd'hui, leur taille dépasse rarement le mètre. Cette diminution de taille des poissons dans les captures est un des symptômes clairs de la surexploitation généralisée des stocks de poissons, et surtout des plus grands. Les scientifiques commencent à mesurer l'ampleur de ce phénomène. Les connaissances du fonctionnement du milieu marin, même si elles sont incomplètes, laissent présager que la diminution massive de ces espèces prédatrices aura des conséquences importantes sur l'ensemble des écosystèmes marins, bouleversant leur structure et leur fonctionnement. Dominés par des espèces de petite taille et à courte durée de vie, les écosystèmes deviendraient beaucoup plus tributaires des variations environnementales et climatiques.

Dynamique des systèmes d'exploitation

Les pêcheries sont des systèmes d'exploitation de ressources renouvelables avec une dynamique globale née des interactions entre des composantes humaines, sociales et naturelles. La dynamique des exploitations peut être étudiée conjointement avec celles des ressources exploitées. Ces études sont indispensables pour le développement de modèles de cogestion des pêcheries. Elles sont tout particulièrement importantes dans le cas des pêcheries tropicales, en particulier artisanales, dont les unités de pêche peuvent adapter leur activité aux conditions très variables d'accessibilité aux diverses composantes des écosystèmes exploités. Dans ce cas en effet, l'impact des activités de pêche est affecté d'une variabilité « décidée » par les pêcheurs.

Il est nécessaire de bien évaluer cette variabilité pour en tenir compte dans l'évaluation de la ressource. Mais cette variabilité doit aussi, et peut-être surtout, être étudiée parce qu'elle découle de l'adaptabilité des pêcheurs et peut à ce titre être une source de viabilité des systèmes d'exploitation.

Ceci conduit à l'étude de la gouvernance des exploitations halieutiques. Ce terme de gouvernance indique que l'activité et les règles auxquelles elle se conforme résultent des interactions entre un nombre important de parties prenantes (pêcheurs, consommateurs, autorités gouvernementales, organisations non gouvernementales, organismes de recherche…).

Les recherches en ces domaines sont menées dans des contextes d'interdisciplinarité associant sciences humaines, sciences de la nature et sciences de modélisation.

Vers une pêche responsable et durable

Il est urgent de mettre en place des mesures de gestion qui prennent en compte les impacts de la pêche sur le fonctionnement des écosystèmes. Les pratiques actuelles de la pêche, trop souvent issues d'une vision à court terme de rentabilité économique, hypothèquent non seulement l'avenir des populations et écosystèmes marins mais également celui du secteur de la pêche à moyen terme.



Dans un objectif d'incitation à une démarche de précaution et dans un véritable effort de construction de la pêche de demain, la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) a jeté les bases d'une « Approche Ecosystémique des Pêches ». En établissant le code de conduite pour des pêches responsables en 1995, une dimension nouvelle apparaît avec le principe de précaution appliqué aux pêcheries. Il s'agit en l'occurrence d'une tentative affichée de réconcilier conservation et exploitation. Il ne s'agit pas de rejeter l'activité de pêche en tant que telle mais de responsabiliser les pêcheurs et instances décisionnelles dans l'exploitation des ressources renouvelables marines. Les activités de l'exploitation ne sont alors plus considérées comme isolées de leur contexte qu'est l'écosystème. La déclaration de Reykjavik en 2001, qui a ensuite été avalisée durant le Sommet Mondial sur le Développement Durable à Johannesburg en 2002, demande aux États de fonder leur politique d'exploitation des ressources marines sur des approches écosystémiques. Un cadre international et un agenda sont désormais fixés pour lesquels des objectifs de la conservation et de l'exploitation existent.

Pour les scientifiques, un des enjeux est de mieux quantifier les effets de la pêche sur les écosystèmes. De nombreuses lacunes persistent encore dans ce domaine, car ce n'est que récemment que l'effort de recherche est porté sur le fonctionnement des écosystèmes dans leur ensemble. Une voie de recherche possible est d'élaborer et de proposer des indicateurs écosystémiques des pêches dans un objectif d'établir une véritable fiche de santé des écosystèmes marins et ainsi de mieux communiquer les connaissances scientifiques aux sphères décisionnelles de la gestion des pêches. L'utilisation de ces indicateurs a été discutée lors d'un symposium international en avril 2004 à l'Unesco, à Paris, qui a réuni plus de 250 chercheurs de 53 pays. Cette conférence a permis de faire un bilan des connaissances sur ce sujet et de jeter les bases des recherches futures à engager afin d'affiner les diagnostics de l'état de santé des écosystèmes marins mondiaux. Reste à savoir si les gouvernements intégreront la responsabilisation des pêcheries, prônée par la FAO, dans leur législation à l'heure où une gestion responsable et précautionneuse de la pêche est un minimum requis pour assurer la viabilité de la ressource et de son exploitation. Si, faute de ressources, les pêches maritimes ne veulent pas devenir une activité ludique à l'instar de la chasse, il faudra réduire le nombre de bateaux et leur activité, reconstituer les nombreux stocks de poissons qui se sont effondrés et réconcilier conservation et exploitation, c'est-à-dire rendre les pêcheries plus respectueuses de leur environnement.

Le Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale

Créé en 2001, le Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale (CRH) de Sète est une structure de recherche partenariale qui associe l'Ifremer, l'IRD et l'Université Montpellier II. Spécialisé sur les milieux marins méditerranéens et tropicaux et leurs ressources halieutiques, le CRH développe des recherches intégrées pluridisciplinaires pour une approche écosystémique des pêches, dans un contexte de changement climatique global et de surexploitation. Les thématiques abordées et les compétences sont l'écologie marine, les modélisations couplées physique/biogéochimie/ressources halieutiques, les interactions trophiques, la dynamique des populations exploitées et des pêcheries, l'évaluation des stocks, la technologie des pêches, les systèmes d'information, les indicateurs et les isotopes stables.

Projet pilote du CRH, l'Écoscope est un centre de savoir sur les écosystèmes marins exploités. Il a vocation à capitaliser, articuler et diffuser les connaissances acquises par les divers programmes de recherche passés, présents et à venir dans les écosystèmes tropicaux et méditerranéens. Il permet ainsi d'avoir accès aux données, outils, méthodes et savoir-faire dans chacun des écosystèmes pour répondre aux questions posées par l'approche écosystémique des pêches. L'Écoscope est non seulement destiné aux chercheurs et partenaires du CRH mais aussi à la diffusion auprès de la profession et des jeunes.

Par Philippe Cury [philippe.cury@ird.fr
et Yunne Shin [shin@ird.fr





www.eur-oceans.info













EUR-OCEANS
CLIMATE CHANGE AND MARINE ECOSYSTEMS

Educational activities
Attività didattiche
Actividades didácticas
Activités pédagogiques
Ćwiczenia
Undervisningsaktiviteter

« Plancton du Monde »

Tous les 8 juin depuis trois ans, l'opération « Plancton du monde » est organisée par Océanopolis et l'Agrocampus Rennes site de Beg-Meil, dans le cadre de la Journée Mondiale des Océans. Depuis 2007, un partenariat avec le réseau d'excellence européen EUR-OCEANS a été mis en place. Les objectifs de ce partenariat sont multiples :

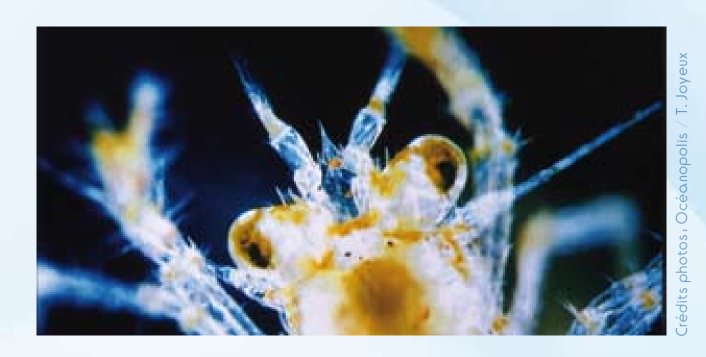
- Sensibiliser les élèves sur la diversité du plancton marin
- Comprendre le rôle majeur du plancton dans les écosystèmes marins
- Établir différentes chaînes alimentaires
- Initier les élèves à la démarche d'investigation
- Développer le sens de l'observation chez l'enfant
- Échanger avec les différentes classes européennes du réseau sur cette thématique

Dans les différents aquariums du réseau EUR-OCEANS, des ateliers pédagogiques sont proposés aux enseignants et à leurs élèves sur le thème du plancton.

Après avoir étudié cette thématique, les élèves réaliseront un travail pédagogique. Ce travail sera valorisé dans chaque aquarium et pourra être présenté sous différentes formes :

- une histoire de plancton
- créer un spectacle (danse, théâtre...)
- dessins...

Afin de vous aider à exploiter cette thématique avec vos élèves, plusieurs fiches pédagogiques ont été réalisées.



Crédits photos : Océanopolis / T. Joyeux

Le plancton : définition, collecte

1 - Définition :

Dans la mer, en pleine eau, certaines algues et animaux flottent, leurs déplacements sont faibles, on dit qu'ils se laissent porter par les courants ou qu'ils dérivent. Ils constituent le plancton.

2 - Où et comment collecter le plancton ?

Vous pouvez collecter du plancton au bord de la mer ou en pleine mer. Pour le récupérer, il vous faut un matériel spécifique.

Matériel nécessaire :

- 1 filet à plancton
- 2 ou 3 tamis (tubes en pvc avec une maille entre 20 et 150 microns)
- 1 pipette
- 2 ou 3 lames de verre
- 2 ou 3 lamelles
- Microscope

Protocole :

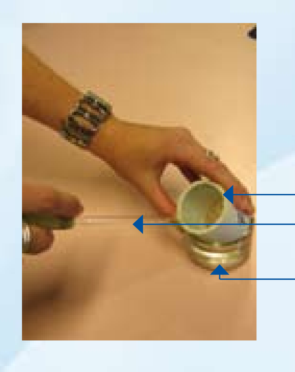
- Au bord de la mer :

- Étape 1 : le prélèvement du plancton s'effectue en traînant un filet à plancton (pendant 1 à 2 mn), qui concentre les organismes et les dirige vers le fond du filet fermé par un flacon.

Attention ! La survie des organismes ne dépasse pas quelques heures. Il est donc indispensable de ramener rapidement le flacon en classe pour procéder aux observations. Il est toutefois possible de travailler sur des échantillons formolés à 5 %.



- En classe :



Tamis (tube en pvc, maille entre 20 et 150 microns)
Pipette
Cristallisoir

- Etape 2 : prendre un tamis, le déposer au-dessus d'un cristallisoir contenant de l'eau de mer en l'inclinant légèrement, et verser ¼ du contenu de la bouteille sur le tamis (de manière à ce que les différentes espèces de plancton se retrouvent regroupées dans un coin du tamis).

- Etape 3 : avec la pipette, prélever un peu de l'eau qui se trouve bloquée dans le coin du tamis et déposer quelques gouttes sur une lame en verre.

- Etape 4 : recouvrir la goutte avec une lamelle et si besoin une goutte de formol à 5 %.

- Etape 5 : observation du plancton marin au microscope.

Le phytoplancton

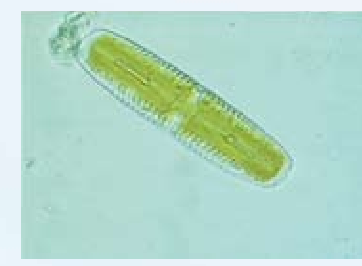
1 - Définition :

Le phytoplancton est à l'océan ce que l'herbe est au continent. 6000 espèces d'algues microscopiques constituent ce phytoplancton, leur taille est comprise entre 1 micron et 1 mm. C'est le plus important groupe des végétaux marins. Comme tous les végétaux, ces micro algues transforment le CO_2 et l'eau en sucres et en dioxygène O_2 grâce à l'énergie du soleil. Ce processus appelé photosynthèse ne peut se produire que dans la couche superficielle de l'océan, là où il y a suffisamment de lumière.

2 - Quelques algues microscopiques (le phytoplancton)



Cyanobactéries
Spiruline
© Hélène Laguerre / Cempama



Diatomée pennale
Naviculacées
Bretagne sud
© Aude PIRAUD / Association Observatoire du Plancton



Spiruline
Culture en eaux chaudes
© T.Joyeux / OCEANOPOLIS

Ces algues microscopiques constituent (avec les macro algues) le premier maillon des chaînes alimentaires en milieu marin, c'est-à-dire qu'elles vont servir de nourriture à des animaux microscopiques (le zooplancton) ou à des organismes marins plus grands (les moules, par exemple).

Exemple :

Les algues microscopiques (le phytoplancton)
↓ *sont mangées par* ↓
le zooplancton phytophage

Les algues microscopiques
sont mangées par
→ les moules ←



Le zooplancton

1 - Définition :

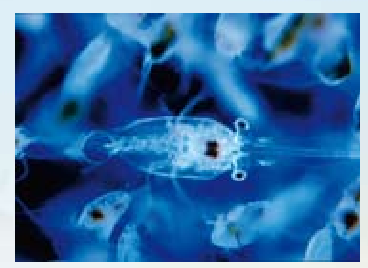
Le zooplancton est constitué d'organismes animaux qui dérivent avec les courants. On distingue d'une part le zooplancton permanent, constitué d'organismes qui naissent, se reproduisent et meurent à l'état de zooplancton et d'autre part, le zooplancton temporaire qui ne passe qu'une partie de sa vie, en général la phase larvaire, en pleine eau. Ce dernier va subir une métamorphose à un moment de sa vie et se transformer en un animal très différent ! Pour cela, il arrête de flotter et va se fixer sur un rocher par exemple.

2 - Quelques espèces de plancton animal (le Zooplancton)

Le plancton permanent

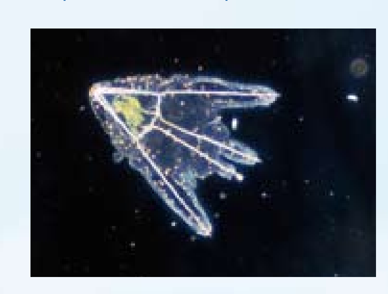


Nauplies d'Artemia
Salins du midi
© T.Joyeux / OCEANOPOLIS



Copépodes
Ile de Tatihou
(Cotentin)
© T.Joyeux / OCEANOPOLIS

Le plancton temporaire



Larve d'oursin
Mer d'Iroise
© T.Joyeux / OCEANOPOLIS



Méduse
Aurelia aurita
Manche
© T.Joyeux / OCEANOPOLIS

3 - Maillons de la chaîne alimentaire :

Pour vivre, le zooplancton permanent et temporaire a besoin de se nourrir :

- soit de phytoplancton, on dit dans ce cas qu'il est un zooplancton phytophage,
- soit de zooplancton plus petit que lui : il s'agit alors d'un zooplancton zoophage.





La chaîne alimentaire

Les organismes marins peuvent être classés selon l'origine de leur alimentation.

- **Les producteurs primaires** (phytoplancton et grandes algues) tirent leur énergie de la lumière et utilisent des éléments minéraux pour reconstituer leurs propres tissus organiques.
- **Les consommateurs primaires** (zooplancton, éponges, ascidies, moules...) se nourrissent de producteurs primaires ; ils filtrent l'eau pour récupérer le plancton végétal : ce sont des phytophages.
- **Les consommateurs secondaires** (seiches, poulpes, étoiles de mer, petits poissons) se nourrissent d'herbivores : ce sont des prédateurs ou des zoophages.
- **Les super prédateurs** comme les Phoques en Bretagne sont au sommet de la chaîne alimentaire, ils constituent le dernier maillon de la chaîne.

Les cadavres et les autres débris organiques sont consommés par des organismes décomposeurs, les bactéries. Ces bactéries transforment la matière organique en matière minérale. Ces sels minéraux remis en suspension dans l'eau sont des éléments nutritifs utilisés à nouveau par les végétaux.

L'ensemble des chaînes alimentaires est organisé en réseau. Il y a un regroupement de plusieurs chaînes alimentaires. Un même animal peut avoir plusieurs sources de nourriture. Il peut lui-même être la proie de plusieurs animaux.



Crédits photos : Océanopolis / T. Joyeux

Plus une chaîne est courte, plus elle est productive.

On peut dire que :

1000 kg d'algues microscopiques produisent 100 kg de moules, qui produisent 10 kg de daurades, qui produisent 1 kg de phoques.

En résumant :

- le phytoplancton (producteur primaire) est mangé par le zooplancton phytophage (protozoaires et copépodes) qui à son tour est mangé par le zooplancton zoophage (larves de crustacés et de mollusques par exemple).
- le plancton marin est donc un maillon clé des réseaux trophiques marins, il est source de nourriture aussi bien pour les petits polypes des coraux que pour les poissons demoiselles ou encore l'énorme requin baleine ou la baleine elle-même, le plus grand des mammifères.

Avec vos élèves, utilisez le poster « Relations alimentaires en milieu marin » pour réaliser un exemple de réseau élémentaire.

N'oubliez pas de positionner la flèche entre deux maillons dans le sens suivant :

→ *est mangé par*

Il est également important de montrer la place de ces organismes dans les réseaux alimentaires océaniques. Si le phytoplancton et le zooplancton disparaissent, que se passe-t-il dans la chaîne alimentaire ?



Formation d'eau profonde

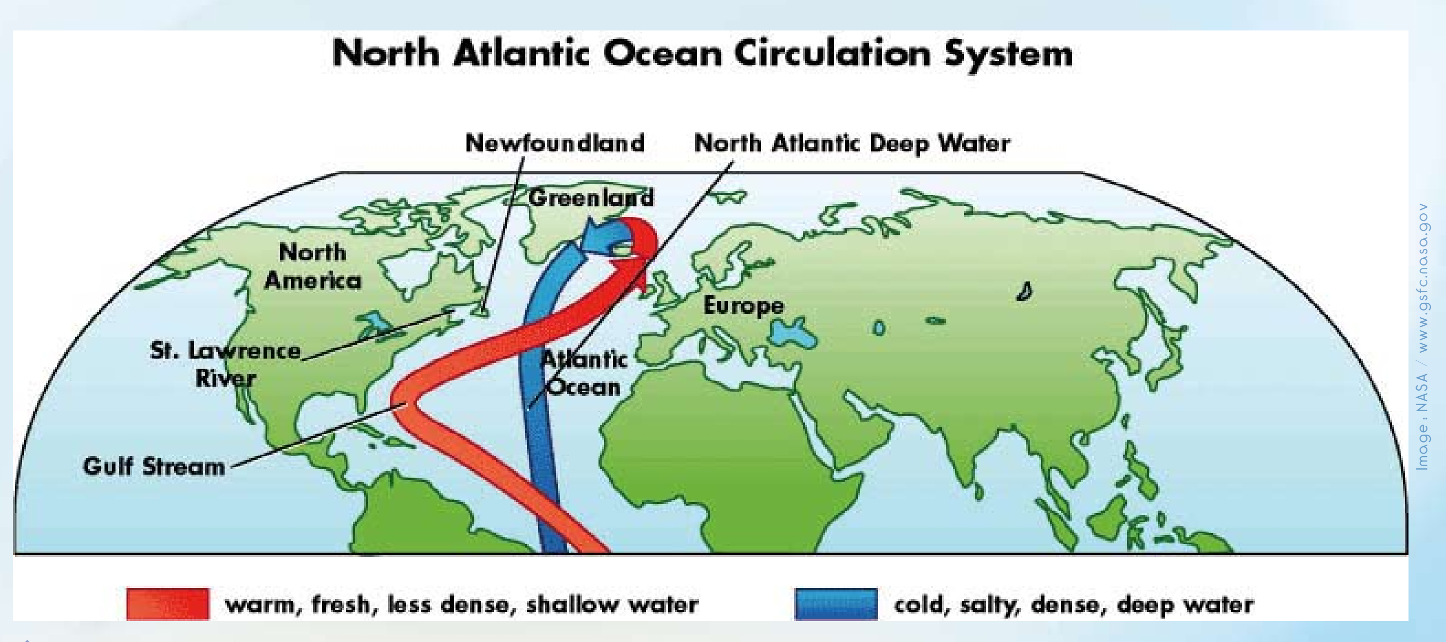
Contenu scientifique :

- La formation d'eau profonde est un phénomène très localisé qui a lieu dans deux régions spécifiques du globe :

  1) l'Atlantique Nord
  (North Atlantic Deep Water : au niveau des mers de Norvège, du Groenland et du Labrador)

  2) l'Antarctique
  (Antarctic Bottom Water : au niveau de la mer de Weddell et mer de Ross)

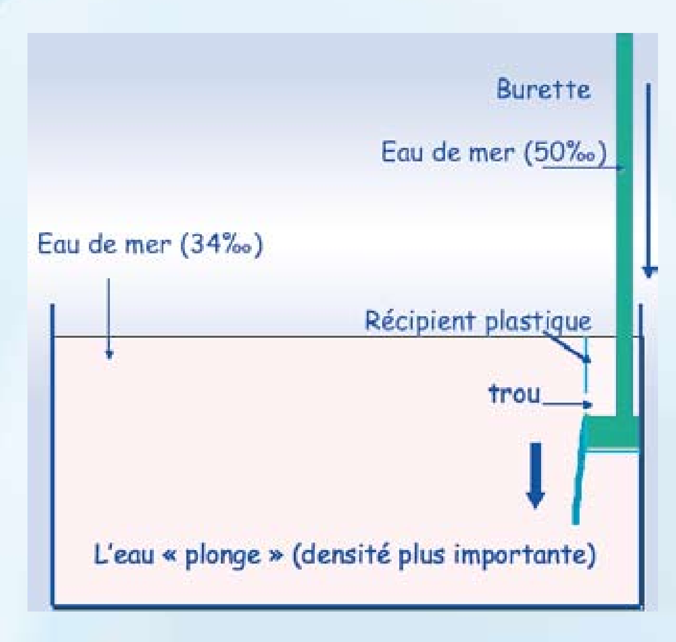
- Les eaux profondes sont formées lorsque - dû à des changements de température et de salinité - les eaux de surface deviennent plus denses (et donc lourdes) et "plongent" vers les profondeurs de l'océan. Ce processus est un des principaux engrenages d'une circulation océanique qui s'étend à tout l'océan mondial et peut ainsi influencer le climat de notre planète (Voir le poster 'Ocean Conveyord Belt' dans notre pochette 'Support').



Zoom sur l'Atlantique Nord.
En rouge, courants chauds de surface. En bleu, eaux froides, denses et salées plongeant vers les fond océaniques, circulant ensuite en profondeur.



Schéma :



Matériel :

- Protocole
- 1 burette
- 1 récipient plastique
- 1 balance
- 1 aquarium
- Eau de mer (34 ‰)
- Eau
- Sel
- (Facultatif : feuilles quadrillées ou lampes)

Réalisation de l'expérience :

- Remplir l'aquarium d'eau de mer (salinité 34 ‰)
- Faire un trou dans le récipient plastique (de préférence transparent) à 2 cm du fond
- Mettre le récipient plastique dans l'aquarium et le fixer afin que le bord du récipient soit juste au-dessus de la surface de l'eau
- Diluer 5 g de sel dans 100 ml d'eau douce (salinité de l'eau = 50 ‰)
- Installer la burette et placer son embouchure près du fond du récipient en plastique
- Remplir la burette avec l'eau salée à 50 ‰
- Ouvrir le robinet de la burette, l'eau doit couler doucement et en continu dans le récipient plastique (éviter les turbulences)

Le récipient se remplit lentement ; lorsque l'eau plus salée arrive au niveau du trou, elle s'écoule dans le fond de l'aquarium. Cet écoulement est visible grâce à la différence de propriété optique entre des eaux de salinité différente.

Note : la visualisation de l'écoulement peut être améliorée en mettant une feuille quadrillée sur le fond opposé à l'observation, ou en éclairant l'avant de l'aquarium face à un mur blanc.

